Коровкина

Технология

фарфорового и фаянсового производства

Под общей редакцией
докт. техн. наук
проф. *И. А. Булавина*

МОСКВА «Легкая индустрия» 1975

6П7.3
Т38

УДК 666.5/.6

Рецензент докт. техн. наук проф. *И. И. Мороз*

Т38 **Технология** фарфорового и фаянсового производства. М., «Легкая индустрия», 1975. Авт.: Булавин И. А., Августиник А. И., Жуков А. С. и др.

448 с.

В книге изложены основы теории и практики производства разных видов фарфора, фаянса, майоликовых изделий и каменной посуды. Описаны технологические процессы и оборудование для приготовления керамических масс, формования, сушки, обжига и обработки изделий.

Книга предназначена для инженерно-тех. ческих работников фарфоро-фаянсовой промышленности, а также мо… быть полезна студентам вузов.

6П7.3

Т $\frac{31405—055}{036(01)—75}$ 55—75

ПРЕДИСЛОВИЕ

Согласно решениям XXIV съезда КПСС в планах развития фарфоро-фаянсовой промышленности предусмотрено резкое увеличение производства фарфора и фаянса разных видов. Выпуск хозяйственного фарфора повысится за девятую пятилетку примерно в два раза. Возрастет также количество тонкой строительной керамики, электрофарфора, кислотоупорных фарфоровых изделий. Такое увеличение выпуска фарфора и фаянса разных видов будет обеспечено благодаря использованию наиболее эффективных методов производства, нового оборудования, механизации и автоматизации трудоемких процессов. Подготовка и переподготовка привлекаемых в фарфоро-фаянсовую промышленность инженерно-технических работников требует издания специальной литературы: монографий, справочников и разных пособий.

Авторы настоящей книги делают попытку рассмотреть основные вопросы современной технологии производства фарфора и фаянса разных видов.

Производство хозяйственного фарфора и фаянса отличается разнообразием процессов и потому в книге ему уделено значительное место. По тонкой строительной керамике и электрофарфору более подробные сведения даются в специальных пособиях, приведенных в указателе литературы.

Книгу создавал коллектив авторов:

главы I, II и XII написаны И. А. Булавиным,

глава VII — И. А. Булавиным с участием Н. Т. Кривоносовой и А. С. Красноусовой,

главы III, V и IX — А. И. Августиником,

глава VIII — А. И. Августиником с участием В. А. Соколовой,

глава IV — И. Я. Юрчаком,
глава VI — А. С. Жуковым,
глава X — Г. А. Ковельманом,
главы XI, XIII—XVI — Н. Н. Ивановым-Городовым,
глава XVII — С. Т. Тумановым,
глава XVIII — Н. А. Петровым с участием И. А. Булавина,
глава XIX — Н. Л. Одинцовым и У. П. Кочетковым.

Авторы выражают благодарность И. И. Морозу за ценные указания при рецензировании рукописи.

Замечания и пожелания по книге просим направлять по адресу: 103031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, 22, изд-во «Легкая индустрия».

ГЛАВА I

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Производство фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий начало развиваться на основе тысячелетней практики кустарного изготовления гончарной хозяйственной и декоративной керамики. Обнаруженные при раскопках образцы гончарной посуды относятся, вероятно, к 5—3 тысячелетию до нашей эры. Постепенное усовершенствование производства гончарных глазурованных изделий привело к развитию технологии разнообразных майоликовых изделий.

В Египте, Вавилонии и других странах Ближнего Востока здания облицовывались цветной глазурованной керамикой [1]. Дальнейшее развитие производство майолики получило в XV в. в Италии. Использование беложгущихся глин в мастерских, изготовляющих майолику, привело к разработке технологии фаянса, получившего название от итальянского города Фаенца. В XVI—XVII вв. производство фаянса организуется в заводских условиях во Франции, Германии, Голландии и Англии [2]. В России первый фаянсовый завод был построен в Межигорье под Киевом в 1798 г. [3]. В разных странах Ближнего Востока и Европы мягкий фаянс с водопоглощением до 20%, покрытый легкоплавкими цветными и глухими белыми глазурями, заменял хозяйственный и художественный фарфор. В XX в. выпуск твердого фаянса с водопоглощением не более 12% успешно развивается вместе с производством фарфора на основе использования прогрессивных методов массового производства. Невысокая по сравнению с фарфором стоимость обеспечивает фаянсу широкое использование и в настоящее время.

Фарфор, обладающий весьма важными техническими и художественно-декоративными достоинствами, вследствие более сложной технологии и высоких требований к качеству сырья получил широкое распространение позже майолики и фаянса, хотя первые сведения о выпуске хозяйственного фарфора в Китае [4] относятся к 200 годам до нашей эры. Раннему возникновению производства фарфора в Китае способствовал благоприятный состав горной породы (фарфорового камня), содержащей необходимые для получения фарфора компоненты и дающей с добавкой каолина пластичную формовочную массу.

Месторождения этой породы под названием «нанкам», расположенные вблизи г. Дзинь-дэчжень в провинции Цзяньси, относятся к серицитовым песчаникам примерно следующего состава: SiO_2 — 75%, Al_2O_3 — 16%, TiO_2 — 0,05%, Fe_2O_3 — 0,41%, CaO — 0,28%, MgO — 0,60%, Na_2O — 1,97%, K_2O — 3,3% при потерях прокаливания около 2,25%.

Древний китайский фарфор в лучших его образцах декорировался разнообразными цветными глазурями и керамическими красками, которые изготовлялись замечательными мастерами на довольно бедной основе из природных минералов, содержащих медь, железо, кобальт, марганец.

Умело используя в примитивных печах того времени окислительный и восстановительный обжиг, китайцы изготовляли высококачественную посуду, вазы и другие художественно-декоративные изделия.

Способы производства фарфора, рецепты массы, глазури и красок были в Китае засекречены, что надолго задержало распространение фарфора в других странах. В Европу китайский фарфор был завезен португальцами в XV в. Первые попытки воспроизвести в начале XVIII в. технологию китайского фарфора на основе известных в Европе месторождений глин, каолинов, кварца и полевых шпатов были безрезультатны.

Высокие достоинства весьма дорогих китайских фарфоровых изделий стимулировали дальнейшие эксперименты в этой области. По приказу Саксонского курфюрста Августа алхимику И. Бетгеру с участием Э. Чирнгауза удалось получить первый фарфор в Германии и в 1709 г. организовать его производство в Альбрехтсбурге вблизи г. Мейсена. В те времена фарфор был весьма дорогим и доступным лишь для ограниченного круга придворной знати.

В России в 1746 г. Д. И. Виноградов [5] самостоятельно разработал технологию производства фарфора из кварца, отмученной глины (песчанки) и алебастра в качестве плавня.

На основе этих экспериментов было организовано производство фарфора на императорском заводе под Петербургом. После расширения завода и усовершенствования технологии с использованием отечественного сырья ныне Ленинградский фарфоровый завод имени М. В. Ломоносова выпускает высококачественный хозяйственный и художественный фарфор разнообразного ассортимента.

В поисках способов производства твердого фарфора, изготовляемого из кварца, глин, каолинов и полевого шпата в качестве плавня и обжигаемого при высокой температуре около 1400° С и в подражание внешним его признакам, во Франции возникло производство фриттового фарфора из смеси размолотого песка, гипса, соды и квасцов при невысокой температуре. Низкое качество и технологические затруднения в производстве не привели к распространению этого вида изделий.

В Англии для производства фарфора в качестве плавня используют жженые кости (золу). Костяной фарфор обжигают при температуре 1250° С. В небольших количествах чайные и кофейные сер-

визы из этого фарфора выпускаются и в СССР на Ленинградском фарфоровом заводе имени М. В. Ломоносова.

Так называемый мягкий фарфор отличается от твердого более высоким содержанием шпата или его заменителей и пониженной температурой обжига (1250—1350° С).

Из низкотемпературного фарфора изготовляются санитарные изделия, электроизоляторы, массивная столовая посуда для общественного питания, а на некоторых заводах и хозяйственный фарфор широкого ассортимента.

Технология производства совершенствовалась вначале на заводах хозяйственного и художественного фарфора. Затем возникли заводы технического фарфора (изготовляющие электроизоляторы, лабораторную посуду, кислотоупорные изделия) и, наконец, санитарно-строительного фарфора на смену санитарно-строительного фаянса.

Вслед за Мейсенским заводом в конце XVIII и начале XIX в. в Германии (в Берлине, Нимфенбурге и других городах) организуются крупные предприятия типа мануфактур с преобладанием ручного труда. Создаются фарфоровые заводы во Франции (Севрская мануфактура) и в Англии. В 1766 г. англичанин Гарднер построил фарфоровый завод в Вербилках (под Москвой).

В начале XIX в. в Подмосковье (район Гжели) организуется много мелких заводов хозяйственного фарфора и фаянса, скульптур, игрушек. Много заводов фарфора и фаянса (Городницкий в 1799 г., а затем Барановский, Олевский, Токаревский и др.) было построено на Украине, обладающей большими запасами высококачественных каолинов, глин, кварцевого песка.

В начале XX в. в России сформировались три центра фарфоро-фаянсовой промышленности: Подмосковье, Украина, Северо-Запад. Обособленно было организовано производство фарфора восточного ассортимента на Волге (на Рыбинском, ныне Первомайском заводе) и в Сибири (Хайтинский завод под Иркутском).

В дореволюционной России насчитывалось 36 фарфоровых и фаянсовых заводов и среди них такие крупнейшие в Европе предприятия, как Дулевский фарфоровый завод, построенный в 1832 г., Тверская фарфоро-фаянсовая фабрика, построенная в 1803 г. (ныне фаянсовый завод имени М. И. Калинина), Дмитровский и Будянский заводы. После Великой Октябрьской социалистической революции развитие фарфоро-фаянсовой промышленности было направлено в основном на восстановление, расширение и реконструкцию заводов хозяйственного фарфора и фаянса, а также на организацию производства технического фарфора и санитарного фаянса, которые в дореволюционной России импортировались из Германии и Англии.

Для строек первых пятилеток организуется производство электроизоляторов на заводах «Пролетарий» в Ленинграде, «Изолятор» в Москве и новом арматурно-изоляторном заводе в Славянске.

Некоторые заводы были перестроены с выпуска хозяйственного фарфора и фаянса на выпуск санитарно-строительного фаянса (Кировский и Словутский) и электрофарфора («Пролетарий» в Ленинграде, «Изолятор» в Москве). Расширение выпуска хозяйственного

фарфора и фаянса проходило благодаря интенсификации технологических процессов и их механизации.

Оборачиваемость печей периодического действия (круглых горнов) была увеличена с 5—6 до 8—10 оборотов в месяц с улучшением условий труда при установке мощных вентиляционных систем. По мере накопления материальных ресурсов были расширены и реконструированы почти все фарфоровые и фаянсовые заводы в РСФСР и УССР.

Расширение старых и строительство новых фарфоровых и фаянсовых заводов происходило на современной технической базе с использованием вакуумных массомялок, формовочных полуавтоматов, непрерывнодействующих туннельных печей и конвейерных сушилок, механизированного межцехового и внутрицехового транспортирования полуфабриката. В связи с расширением промышленного и жилищного строительства большое внимание уделялось расширению выпуска электрофарфора и санитарно-строительного фаянса. Рост производства электрофарфора характеризуется количеством эксплуатируемых туннельных печей: в 1932 г. была всего 1 печь, в 1952 г. их стало 4, в 1960 г. — 18, в 1970 г. — 43.

В результате работ Государственного научно-исследовательского института керамической промышленности (ГИКИ) было изучено и освоено в производстве сырье отечественных месторождений: часов-ярская, воронежская и трошковская беложгущиеся глины, украинские каолины, полевые шпаты и кварцевые пески. После 1917 г. наша фарфоро-фаянсовая промышленность полностью прекратила импорт сырья.

Хотя за годы первых пятилеток основные ресурсы страны выделялись на развитие металлургии, машиностроения и других ведущих отраслей народного хозяйства, тем не менее было начато строительство современных печных цехов, оборудованных мощными туннельными печами. Были построены туннельные печи на заводах «Пролетарий» (Ленинград) и Славянском для производства изоляторов, новый туннельный цех на Дулевском заводе и новый Хайтинский фарфоровый завод с двумя туннельными печами политого обжига.

Перед Великой Отечественной войной наши фарфоровые и фаянсовые заводы выпускали до 221,5 млн. шт. изделий в год — на 42,8 млн. шт. больше, чем в 1913 г.

В годы войны фарфоро-фаянсовая промышленность страны понесла большой ущерб. После войны в первую очередь начало быстро развиваться производство санитарно-строительного фаянса и полуфарфора для нужд жилищного, заводского и коммунального строительства.

За десять послевоенных лет резко увеличилось количество современного оборудования, механизированы многие трудоемкие производственные и транспортные операции. Так, например, количество непрерывно-поточных механизированных линий возросло с 250 до 624, формовочных полуавтоматов — со 113 до 807, конвейерных сушилок — с 85 до 320, туннельных печей — с 17 до 84, конвейерных печей — с 2 до 92. Успешно выполняется план увеличения вы-

Основные показатели развития отечественной фарфоро-фаянсовой промышленности

Показатель	Годы				
	1912	1913	1921	1927	1940
Число заводов	29	29	6	29	29
Выпуск фарфоро-фаянсовых изделий культурно-бытового назначения:					
тыс. т	39,5	44,5	3,5	45,5	54,7
млн. шт.	162,9	178,7	15,6	180	221,5
Количество рабочих в цехах	19 100	19 218	5200	22 500	32 400
Производительность труда на одного рабочего в год:					
т	2,07	2,3	0,67	2,0	1,69
тыс. шт.	8,53	9,3	3,0	8,0	6,84

Показатель	Годы				
	1960	1969	1970	1975 (план)	1980 (план)
Число заводов	32	39	42	54	64
Выпуск фарфоро-фаянсовых изделий культурно-бытового назначения:					
тыс. т	109,7	130	142,8	238	294
млн. шт.	553	553	601	1060	1261,5
Количество рабочих в цехах	34 838	42 805	43 223	50 460	50 460
Производительность труда на одного рабочего в год:					
т	3,1	3,1	3,3	4,7	5,8
тыс. шт.	12,5	12,9	13,9	21,0	25,0

пуска хозяйственного фарфора и фаянса в девятой пятилетке (см. таблицу).

Запроектировано увеличение мощностей Хайтинского, Дулевского, Дмитровского, Ленинградского имени М. В. Ломоносова, Южно-Уральского, Первомайского, Барановского, Довбышанского, Коростеньского, Городницкого, Ташкентского и других заводов, а также строительство новых мощных фарфоровых заводов.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Hoase Theodor.** Keramik, Leipzig, 1968, 353 c.
2. **Кубе А. Н.** Майолика и французский фаянс XVIII в. собрания Штиглица. Пб., Рос. гос. акад. тип., 1923. 43 с.
3. **Лысин Б. С.** Производство фарфора и фаянса. Киев, изд. Всеукр. треста «Фарфор—фаянс—стекло», 1923. 413 с.
4. **Августиник А. И.** Керамика. М., Промстройиздат, 1957. 484 с.
5. **Безбородов М. А.** Дмитрий Иванович Виноградов — создатель русского фарфора. М.—Л., изд-во АН СССР, 1950. 510 с.

ГЛАВА II

ПРОЦЕССЫ И ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ФАРФОРОВОГО И ФАЯНСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Керамика раньше металлов стала важным материалом для посуды и других изделий. Этому способствовало широкое распространение доступного сырья — глин — и их высокая технологичность.

Глины и их наиболее чистые представители — каолины — являются единственными горными породами, из которых вместе с отощающими добавками можно приготовить пластичные и текучие (литейные) керамические массы или сухие заготовки и прессовочные порошки. Только глины и каолины обеспечивают керамическим массам универсальные свойства [1, 2]: пластичность и податливость при формовании изделий, хорошее заполнение гипсовых форм жидкой массой и последующее ее упрочнение за счет отдачи влаги через капилляры формы, хорошую обрабатываемость резанием подвяленных или высушенных заготовок, возможность прессования изделий из порошкообразных масс при невысоких давлениях без органических связок и пластификаторов. Ввиду большого разнообразия составов и свойств керамические изделия [3, 4] подразделяют на грубую керамику (в основном строительную и огнеупорную) и на тонкую — фарфор, полуфарфор, фаянс, майолику и разнообразную техническую керамику: электрофарфор, изделия, синтезируемые на основе чистых окислов и соединений для удовлетворения разнообразных запросов современной техники.

Основными отличиями тонкой керамики от грубой является использование для формования изделий тонкодисперсных масс (шихт) и однородное мелкозернистое строение этой керамики, отдельные элементы которого различимы лишь под микроскопом. По этим общим признакам к тонкой керамике относят обожженные изделия древнейших эпох, которые изготовлялись из глин, содержащих лишь тонкодисперсные примеси кварца, полевого шпата и других минералов. Таким образом, история развития технологии тонкой керамики начинается с изготовления обожженной посуды, имеющей в изломе однородную структуру.

Тонкая керамика как материал в производстве хозяйственной посуды и художественно-декоративных изделий получила широкое распространение в быту и благодаря сочетанию присущих ей ценных свойств удерживает свои твердые позиции в этой области, несмотря на конкуренцию дешевой пластмассовой и металлической посуды.

Химическая стойкость и жаропрочность тонкой керамики обеспечивают длительную ее службу, пока она случайно не будет разбита вследствие невысокой ударной прочности (существенный недостаток любой керамики). Благодаря этим положительным свойствам образцы тонкой керамики древнейших времен сохранились до наших

дней, свидетельствуя об уровне культуры народов, несмотря на губительное действие огня, почвенных вод, замораживания и других атмосферных влияний.

Особенностью тонкой керамики является также возможность ее покрытия тонким слоем глазури специального состава, разработанного применительно к свойствам глазируемого изделия.

При расчете составов и приготовлении глазури необходимо обеспечить коэффициент ее термического расширения, близкий к коэффициенту теплового расширения данной керамики, после ее плавления на изделии при совмещенном (политом) обжиге. При недостаточно близких коэффициентах теплового расширения керамики и глазурного слоя неизбежны растрескивания или отколы глазури. Высокая абразивная прочность глазури и ее стойкость в отношении кислот и щелочей — непременное условие долговечной службы керамической посуды. Не менее важными являются декоративные свойства глазурного слоя: равномерный разлив с получением гладкой блестящей поверхности, цвет и другие декоративные особенности. Качеством глазурного покрытия в значительной мере определяется сортность выпускаемых изделий и их стоимость.

В зависимости от типа изделий и их назначения в технологии тонкой керамики используется весьма обширный ассортимент глазурей разного состава: прозрачные, непрозрачные (глухие), цветные, матовые, кристаллические и другие. Прозрачные глазури применяются преимущественно в производствах хозяйственного фарфора и фаянса, отличающихся высокой белизной. Если для приготовления керамической массы используется сырье, придающее изделиям сероватый, кремовый или другой оттенок, то применяют непрозрачные белые или цветные глазури, маскирующие эти нежелательные оттенки. Непрозрачные глазури широко используются в производстве облицовочных плиток, санитарно-строительной керамики, майолики наряду с цветными прозрачными глазурями.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ФАРФОРОВОЙ И ФАЯНСОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основные технологические процессы — приготовление керамической массы, формование, сушка, обжиг, глазурование, шлифование и другие — в течение многих веков совершенствовались в производстве бытовой тонкой керамики, а затем модифицировались в производстве строительной и технической керамики применительно к специальным требованиям разных отраслей промышленности.

Приготовление керамической массы для формования посуды с помощью гончарного круга в кустарном производстве ограничивалось получением пластичной массы влажностью 20—25% путем проминания глин, в которых имелось достаточное количество тонкодисперсных отощающих примесей. Цвет получаемых пористых (майолика) и плотных («каменный» товар) изделий определялся содержанием в исходных глинах окислов железа и

других примесей. Необходимость очистки глин и каолинов от грубодисперсных минеральных примесей с использованием керамических масс из двух-трех глин потребовала приготовления глинистых суспензий с последующим их отмучиванием — удалением седиментацией крупного песка и деконтацией избыточной воды.

Когда конный привод и мельничное колесо были единственными «энергетическими ресурсами», качество тонкой керамики в основном определялось свойствами используемого минерального сырья.

Производство фарфоровой, фаянсовой, майоликовой и «каменной» посуды, а также санитарно-строительной керамики и электрофарфора потребовало создания более производительного оборудования для приготовления керамических масс и глазури.

Несмотря на постоянное конструктивное усовершенствование, основным недостатком некоторых машин является периодический цикл их работы. Шаровые мельницы для мокрого помола отощающих материалов (кварца, полевого шпата и др.), глиноболтушки и мешалки для распускания глин и перемешивания их с отощающими материалами, фильтр-прессы до сих пор работают с периодической загрузкой и разгрузкой.

В отличие от мелких и средних фарфоровых и фаянсовых заводов Западной Европы в России и в США строились заводы преимущественно средней и большой производительности.

Все разнообразное оборудование для обработки сырья и приготовление керамической массы и глазури сосредоточивалось в массоприготовительном цехе, и оно до сих пор, за исключением дробилок, бегунов и шнековых массомялок, работает с периодической трудоемкой загрузкой и разгрузкой. Каждый такой цех является сочетанием цеха приготовления керамической массы и глазури с обогатительной фабрикой, в которой выполняются процессы грубого и мелкого дробления, классификации, тонкого помола и магнитной сепарации нескольких материалов при соблюдении высоких требований к чистоте конечного продукта.

Весьма трудная технология тонкой керамики еще более отягощается процессами обработки небольшого количества сырья по сложной схеме обогатительной фабрики. В фарфоро-фаянсовой промышленности СССР на каждом заводе имеются небольшие обогатительные фабрики, оборудованные малопроизводительными машинами, требующими большого расхода рабочей силы на их обслуживание. Если учесть, что убытки фарфоровых и фаянсовых заводов из-за нерегулярного снабжения сырьем и неудовлетворительной работы массозаготовительных цехов иногда в несколько раз превосходят стоимость использованного сырья, то становится очевидной необходимость скорейшей организации в СССР помольно-обогатительных заводов для снабжения разных отраслей промышленности тонкой керамики кондиционным тонкоизмельченным сырьем стабильного состава. В США эта проблема решена в 1920—1930 гг. организацией крупных помольно-обогатительных заводов, обеспечивающих керамические заводы тонкомолотыми кварцем, полевым шпатом, пластичными глинами, каолином стабильного состава, а также фриттой

и другими компонентами для приготовления керамической массы и глазури. Следует использовать опыт заводов США [5] по проектированию, строительству и оборудованию помольно-обогатительных предприятий для экономически эффективного снабжения заводов тонкой керамики. В наших условиях заводы, использующие тонкомолотое обогащенное сырье, объединены в крупные организации, что позволяет многие проблемы решить более эффективно, чем в капиталистических странах. Так, например, при обогащении каолина из сырца в виде отходов выделяется кварц с примесью полевого шпата. Процесс этот довольно сложный и дорогой. В фарфоровую массу затем вводят каолин, кварц и полевой шпат. Часть каолина-сырца в соответствии с потребностями фарфоровых и фаянсовых заводов и рецептом используемых масс целесообразно размалывать без выделения кварца и полевого шпата в подсушенном виде в непрерывно действующих мельницах и с паспортом состава посылать в таре для непосредственного ввода в керамические массы и глазури. При этом достигается наиболее полное и комплексное использование ограниченных запасов чистых каолинов, упрощение работы массоприготовительных цехов и снижение стоимости фарфоровой и фаянсовой массы. Имеются разные варианты экономически эффективных схем обогащения и размола сырья, фильтр-прессования и других процессов в непрерывно действующих машинах и аппаратах. Современный технический уровень машиностроения позволяет полностью автоматизировать производство фарфоровой и фаянсовой массы.

Формование изделий. В производстве хозяйственного и художественного фарфора, электрофарфора, фаянса и майолики применяется преимущественно формование изделий из пластичной или жидкой массы (шликера). В производстве строительной и технической тонкой керамики широко используются прессование изделий из порошкообразной массы, отливка из парафинового шликера, обточка резцами из цилиндрических заготовок, выдавленных на шнековых или поршневых прессах. Формование из пластичной массы прошло длинный путь: от ручной отминки до современных полуавтоматов и автоматов. Оптимальные формы посуды разного назначения были найдены при формовании ее на примитивном станке — гончарном круге. Его основа — шпиндель с диском для закрепления обрабатываемой пластичной массы, а затем с патроном для закрепления гипсовой формы остался (как и в металлообработке) неизменным конструктивным элементом всех современных полуавтоматов и автоматов. На гончарном круге в умелых руках формовщика-керамика вращающийся комок пластичной массы превращался в посуду любой формы. Первым шагом от кустарного производства к массовому было изобретение гипсовой формы, на которой с помощью шаблона распределялась керамическая масса. Установкой шаблона на заданном расстоянии от поверхности гипсовой формы определялась толщина стенок изделия [6]. Отдача влаги из пластичной массы в пористую форму, сопровождающаяся сокращением размеров подсыхающего изделия и отделением его от формы, обеспечивает и съем изделия для последующей обработки. В дальнейшем были усовершен-

ствованы конструкции одношпиндельных станков для формования небольших партий изделий и разработки конструкций двухшпиндельных полуавтоматов и многошпиндельных формовочно-сушильных автоматов для изделий массового производства [7]. В последних конструкциях станков плоский радиальный шаблон заменен обогреваемым вращающимся штемпелем, используются более долговечные формы из пористой пластмассы [8] вместо гипсовых.

Применение гипсовых форм положило начало второму методу формования — отливке изделий из жидкой массы. Изделия сложной формы, например санитарно-строительная и художественная керамика, которые нельзя заформовать из пластичной массы или прессованием, успешно отливают в разъемных гипсовых формах даже при самой сложной их конфигурации. Современные конвейерные механизированные установки для отливки изделий занимают меньшую заводскую площадь, устраняют тяжелый труд и широко используются при организации непрерывно-поточных линий на заводах тонкой керамики.

Изоляторы для телеграфных, телефонных сетей и высоковольтных линий электропередач изготовляют пластическим формованием. Современное оборудование для формования подвесных (тарельчатых) и других изоляторов, установленное в непрерывно-поточных автоматизированных линиях, дало резкое повышение производительности труда на Славянском (Донбасс) и других заводах. Крупногабаритные оболочки (бушинги) высотой до 2,5 м и диаметром свыше 1 м изготовляются методом обточки из сплошных или пустотелых цилиндрических заготовок. Производство таких изоляторов потребовало создания мощных вакуумных прессов специальной конструкции, из которых методом выдавливания получаются громадные заготовки однородной структуры. Обточка производится на гидрокопировальных и фотокопировальных автоматах. Для обжига этих изоляторов в СССР были впервые в мировой практике созданы мощные туннельные печи, вытеснившие печи периодического действия в крупносерийном производстве. Электроизоляционные и высокоогнеупорные детали, изготовляемые на основе чистых окислов для нужд радиотехники и приборостроения, формуются преимущественно прессованием из порошкообразных масс или отливкой под давлением из парафинового шликера в стальных формах.

Плитки для облицовки полов и стен прессуются на автоматах из порошкообразной массы. Прессовочные порошки изготовляются в настоящее время на заводах СССР преимущественно в высокопроизводительных распылительных (башенных) сушилках, а не трудоемким методом фильтр-прессования (по схеме фильтр-пресс — сушильный барабан — дезинтегратор).

Распылительные сушилки и автоматические прессы на современных заводах включаются вместе с оправочными станками и сушилками в автоматические конвейерные линии, чем устраняется ручной труд на этом участке.

Сушка изделий. Процессом сушки в производстве тонкой керамики завершается изготовление полуфабриката, который под-

вергается дальнейшей обработке: отделке (оправке), приставке деталей (ручки, носики), а также глазурованию при однократном обжиге. Для устранения ручного труда в производстве плиток, хозяйственного фарфора и других подобных изделий применяются роликовые, ленточные и полочные (люлечные) конвейеры.

Конвейер передает заформованные изделия в сушильную камеру, а высушенные изделия — на дальнейшую обработку. Сушилки обогреваются преимущественно горячим воздухом, поступающим из зоны охлаждения туннельных печей (утилизация тепловых отходов). Реже используются газовые горелки или электроэнергия для радиационного нагрева вследствие возникающих дополнительных расходов. Излучатели, нагреваемые газовыми горелками, широко используются для радиационной сушки плиток в конвейерных автоматизированных линиях [9, 10]. В этих условиях продолжительность сушки сокращается в несколько раз, так как нагрев плиток не лимитируется теплопроводностью газовой среды. Радиационный нагрев успешно применяют при сушке плоских изделий (тарелок, блюдец). В производстве полых изделий, например чашек, рациональнее использовать конвейерные сушилки с локально направленными потоками горячего воздуха. Они проще по конструкции и экономически выгоднее радиационных. Струя горячего воздуха или газов, направляемая соплом в полость изделия, равномерно омывает его стенки, не перегревая гипсовой формы.

Специально разработанные методы и режимы конвективной сушки крупногабаритных изоляторов позволяют существенно сократить сроки сушки и расход тепла [11].

При отливке технической керамики из парафинового шликера процесс сушки отпадает; парафиновая связка удаляется из изделий выжиганием в засыпке из огнеупорного материала, например корунда.

Засыпка предохраняет изделие от деформации во время размягчения парафина, когда требуется осторожный нагрев применительно к размерам и форме изделий [12].

Обжиг тонкой керамики. Обжиг заформованного и высушенного полуфабриката является основным процессом производства, в результате которого и получаются керамические изделия разного назначения. Путем нагревания при высоких температурах (обычно в пределах 1000—1600° С) непрочный конгломерат из слабо связанных частиц превращается в прочное монолитное изделие с заданными свойствами. Сложные физико-химические процессы взаимодействия компонентов обжигаемой керамической массы приводят к образованию новых соединений и стекловидной фазы, к уплотнению и упрочнению полуфабриката. По мере повышения температуры обжигаемых изделий в керамической массе протекают последовательно или накладываясь друг на друга разнообразные и довольно сложные физико-химические процессы. Кинетикой этих процессов определяются продолжительность обжига, производительность печей и в значительной мере стоимость продукции. В первую очередь удаляются через крупные капилляры остатки воды из микро-

капилляров и гидратных оболочек глинистых частиц. Полное выделение этой более прочно связанной воды при сушке потребовало бы много времени и повышения температуры сушки, а в печь все же поступал бы полуфабрикат с влагой, поглощенной из атмосферы или при однократном обжиге из глазури. Процесс удаления физически связанной влаги при обжиге тонкостенного хозяйственного фарфора, например чашек (толщина 1,5—2 мм), может протекать быстро при нагреве до 30° С в минуту. Для более массивных изделий из фарфоровых и фаянсовых сервизов, и в особенности электротехнического, санитарного и кислотоупорного фарфора, скорость нагрева зависит от толщины наиболее массивных частей изделия. Интенсификация сушки тонкостенных фарфоровых изделий происходит за счет повышения температуры теплоносителя до 300—460° С (например, при однократном обжиге чашек). Поэтому нагрев изделий до начальной стадии обжига может проходить с высокой скоростью, ограничиваемой лишь термостойкостью полуфабриката. При дальнейшем подъеме температуры происходит дегидратация введенных в керамическую массу глин и каолинов. В зависимости от содержания в этой массе водных алюмосиликатов (каолинита, галлуазита, монтмориллонита и др.) изменяется температура интенсивной ее дегидратации и, как видно из кривых термического анализа [13], колеблется в интервале 550—600° С. При скоростном обжиге в конвейерных печах по условиям кинетики завершение гидратации сдвигается в область более высоких температур и сближается с декарбонизацией карбонатов кальция и магния. До завершения при температуре 900—1000° С дегидратации и декарбонизации поток выделяющихся через капилляры паров воды и углекислого газа препятствует прониканию воздуха в обжигаемый материал и окислению частиц углерода, образовавшихся при разложении органических примесей в фарфоровой массе. В отличие от грубой керамики даже ничтожное содержание углерода здесь недопустимо, так как он снижает белизну хозяйственного фарфора. При температуре 1000—1050° С должен закончиться окислительный период обжига фарфора, так как в последующем восстановительном обжиге изделия будут окружены печными газами, не содержащими кислорода. Восстановление окиси железа — нежелательной, но неизбежной примеси в любых глинах и каолинах — до закиси железа способствует устранению желтоватого оттенка хозяйственного фарфора и протекает в интервале температур 1050—1200° С. Переход от окислительного обжига к восстановительному, а затем к нейтральному в непрерывно действующих туннельных и конвейерных печах требует четкого разграничения зон с заданным составом газовой среды и затрудняет регулирование режима обжига в этих печах [14]. Продолжительность восстановительного периода зависит от массивности изделий, т. е. от длины капилляров, по которым окись углерода и водород печной атмосферы диффундируют в глубинные слои спекаемой керамической массы, а также и от сечения печного канала. При большой ширине и высоте канала требуется дополнительное время для выравнивания температуры изделий в разных участках садки. Так, например, при обжиге крупногабаритных изоляторов высотой 2,5 м продолжительность восстановительного периода в 3—4 раза больше, чем в печах для обжига тонкостенной фарфоровой посуды, и достигает 15 ч. В заключительном периоде нагрева от 1200° С до конечной температуры, колеблющейся в зависимости от назначения фарфора в пределах 1250—1400° С, протекают основные процессы спекания. В зернах дегидратированной глины или каолина образуется первичный муллит. Как показали исследования [15, 16], в начале при температурах 1100—1200 °С образуются скопления весьма мелких (до 0,2 мкм) короткостолбчатых кристаллов переменного состава или призматических величиной до 0,5 мкм. В предложенной [17] схеме последовательности реакций (каолинит—метакаолинит—кубическая фаза шпинелевого типа—муллитовая фаза—формирование муллита стабильного состава) мельчайшие кристаллы переменного состава называются муллитовой фазой. Муллитизации каолина и глины способствуют полевошпатовый расплав и минерализаторы: окись магния, окись цинка, окись лития и др., играющие доминирующую роль в образовании новых кристаллических фаз. В низкотемпературном фарфоре с конечной температурой обжига 1200—1280° С образование вторичного муллита — игольчатых кристаллов до 20 мкм — происходит в полевошпатовом расплаве. При повышении температуры обжига хозяйственного фарфора до 1350—1400° С увеличивается количество полевошпатового стекла. Затем при растворении в этом стекле тонкодисперсных зерен кварца и дегидратированного каолина образуется стекломуллитовая фаза переменного состава, в которую включены кристаллы первичного и вторичного муллита. В зависимости от состава фарфоровой массы и температуры обжига содержание стекломуллитовой фазы может колебаться в широких пределах — от 40 до 80%.

От количества и свойств стекломуллитовой фазы и равномерности ее распределения между зернами остаточного кварца зависят важные свойства хозяйственного фарфора: белизна и просвечиваемость, механическая прочность и электрофизические свойства электрофарфора, химическая устойчивость кислотоупорных изделий. В результате исследований, проведенных в Государственном научно-исследовательском институте керамической промышленности (ГИКИ), Украинском научно-исследовательском институте стекольной и фарфоро-фаянсовой промышленности (УНИИСП) и других институтах, выяснена сущность протекающих физико-химических процессов, фазовый состав получаемого фарфора и свойства изделий разного назначения. Первый тур исследований выполнялся обычно на лабораторных образцах фарфоровых масс, не затрагивая вопросов кинетики физико-химических процессов, решение которых позволило бы установить оптимальные режимы обжига разных видов фарфора, фаянса, полуфарфора и майолики в заводских условиях. Разработка таких режимов применительно к эксплуатации печей разных типов и размеров — весьма важная и неотложная задача. Выполнение в ближайшие годы фундаментальных теплотехнических и технико-экономических исследований работы печей поможет проектным орга-

низациям выбрать оптимальные по экономическим показателям типы и конструкции печей для обжига фарфора и фаянса разного назначения.

В нашей стране уже наметились основные направления в усовершенствовании обжига на фарфоровых и фаянсовых заводах. Перевод большей части печей на обжиг природным газом облегчает автоматизацию регулирования работы топок. Вместе с тем высокие температуры, получающиеся при сжигании газа, и невозможность их снижения и стабилизации во время восстановительного периода до 1050—1200° С за счет избытка воздуха затрудняют получение высокосортного (по белизне и просвечиваемости) хозяйственного фарфора.

В Государственном исследовательском электрокерамическом институте (ГИЭКИ) разработан и реализован в производстве электрофарфора метод стабилизации температуры восстановительной среды путем подачи пара через гидравлические завесы восстановительной зоны [18]. Целесообразно этот метод использовать и при обжиге хозяйственного фарфора в туннельных печах. При скоростном обжиге фарфора в конвейерных печах трудно обеспечить локальную окислительную, восстановительную и нейтральную (или слабовосстановительную) газовые среды в соответствующих смежных и притом коротких зонах щелевых печей. По-видимому, и в этих печах в период восстановительной «выдержки» паровые завесы могут способствовать улучшению качества хозяйственного фарфора. Скорейшая организация несложных и надежных систем автоматического регулирования температуры и состава газовой среды и разных зонах печей также является неотложной задачей рационализации обжига в туннельных и конвейерных печах.

Важное направление усовершенствования обжига тонкой керамики — повышение использования печного объема. Повышение загрузки вагонеток в туннельных печах или конвейеров в щелевых печах (конечно без снижения качества и скорости обжига изделий) увеличивает производительность печей, снижает расход топлива и эксплуатационные затраты. До недавнего времени прогресс в этой области сдерживался отсутствием заводов и цехов для изготовления специальных фасонных карбидкремниевых (карборундовых) и кордиеритовых огнеупоров (плит, стоек и капселей), на которых изделия и загружаются в печь. Использование тонкостенных корборундовых (а при температуре до 1200° С и кордиеритовых) капселей и этажерок легких конструкций дает большой технико-экономический эффект по сравнению с шамотными огнеупорами. Высокая механическая прочность и соответственное уменьшение толщины капселей, а также плит и стоек позволяют увеличить полезную загрузку вагонеток.

Во много раз повышающийся срок службы карборундового припаса резко снижает расходы на его возобновление, несмотря на более высокие первоначальные затраты [19].

Высокая теплопроводность и термостойкость карборундового и кордиеритового припаса позволяют повысить скорость нагрева

и охлаждения фарфоровых и фаянсовых изделий до технологического оптимума. Уменьшение вспомогательной загрузки вагонеток дает также снижение расхода топлива.

Высокая устойчивость карбидкремниевого припаса дает резкое снижение дефектов продукции (деформация и засорка глазурного слоя), получающихся от растрескивания шамотных капселей и плит в обжиге [18].

2. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЗЯЙСТВЕННОГО ФАРФОРА И ФАЯНСА

Отличительными особенностями производства хозяйственного фарфора и фаянса являются:

широкий ассортимент и разнообразная форма изделий;

большое количество разнотипных технологических операций — от простейших при измельчении сырья до сложных физико-химических процессов спекания при обжиге изделий и ручных работ по их художественному декорированию;

большая доля в себестоимости продукции производственных расходов по изготовлению изделий непосредственно на заводах фарфоро-фаянсовой промышленности при относительно низкой стоимости исходного минерального сырья;

применение ручного труда на операциях, механизация и автоматизация которых осложняются хрупкостью полуфабриката и высокими требованиями к товарным качествам глазурованных и декорированных изделий [19]. Поэтому работы по рационализации технологических процессов и реконструкции цехов действующих заводов сосредоточиваются на разработке автоматизированных поточных линий и снижении затрат ручного труда [20]. Наибольший экономический эффект достигается при специализации заводов или отдельных цехов в крупных комбинатах на сравнительно узком ассортименте изделий. В этих условиях можно эффективно использовать мощные автоматизированные линии и создать широкие возможности для конструирования высокопроизводительных автоматов.

Советские фарфоровые и фаянсовые заводы по масштабам производства и условиям планируемого развития отрасли находятся в более благоприятных условиях, чем заводы средней мощности в западно-европейских странах. Эти преимущества следует использовать для конструирования, изготовления и внедрения высокопроизводительного оборудования в опережающих темпах и с использованием опыта работы специализированных линий на передовых отечественных и зарубежных заводах.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Земятченский П. А.** Глины, их физические и химические свойства, пластичность.— Труды ГИКИ. М., изд. техн. управления ВСНХ, 1927, с. 1—87.
2. **Будников П. П.** Керамическая технология, часть 1. Харьков, изд. ГНТИ УССР, 1937. 521 с.
3. **Августиник А. И.** Керамика. М., Промстройиздат, 1957. 488 с.

4. **Лысин Б. С.** Производство фарфора и фаянса. Киев, изд. Всеукр. треста «Фарфор—фаянс—стекло», 1923. 413 с.
5. **Булавин И. А.** Керамическая промышленность США. – В сб. «Сырьевые ресурсы тонкокерамической промышленности СССР и пути их использования». М.—Л., изд-во АН СССР, 1948, с. 33—41.
6. **Флеров М. В.** Производство фарфоровых изделий, изд. 2-е. М.—Л., Гизместпром, 1939, с. 47–80.
7. **Булавин И. А.** Оборудование фарфоровых и фаянсовых заводов. М. Гизместпром, 1940. 398 с.
8. **Борисов М. Б.** Изготовление и эксплуатация пластмассовых форм.— «Стекло и керамика», 1972, № 3, с. 7—9.
9. **Солдатов Г. А.** и др. Газовые радиационные сушила.— «Стекло и керамика», 1964, № 12, с. 26—28.
10. **Гак Б. Н.** Скоростная механизированная сушка керамических плиток в ленточных конвейерных сушилках.— «Стекло и керамика», 1965, № 11, с. 21—24.
11. **Булавин И. А., Кортнев В. В., Шаров В. И.** Расход тепла и скорость сушки фарфора.— «Стекло и керамика», 1972, № 5, с. 25—28.
12. **Грибовский П. О.** Горячее литье керамических изделий. М., Госэнергоиздат, 1961. 400 с.
13. **Торопов Н. А., Булак Л. Н.** Кристаллография и минералогия. Л., Стройиздат, 1972. 313 с.
14. **Булавин И. А., Зорин Н. Ф., Кортнев В. В.** О выборе оптимальных температур обжига в зависимости от вида топлива. — «Стекло и керамика», 1971, № 12, с. 23—25.
15. **Грум-Гржимайло О. С.** О формировании муллита в фарфоре.— «Стекло и керамика», 1973, № 10, с. 7—18.
16. **Bringly G. W., Nakahiro M. I.** Amer. Ceramic. Soc., 1959, № 7, 42.
17. **Кортнев В. В.** Мощные туннельные печи обжига электротехнического фарфора.— «Стекло и керамика», 1968, № 12, с. 20—23.
18. **Городецкий В. С., Кутас О. Н., Селиванова Г.М. и др.** Влияние зернового состава карборунда и режима виброуплотнения на термическую стойкость карборундовых огнеупоров.— «Стекло и керамика», 1970, № 12, с. 31—33.
19. **Милдс М., Лаушке Р.** Роспись фарфора. Пер. с нем. Н. Иванова-Городова. М., «Легкая индустрия», 1971. 205 с.
20. **Мороз И. И.** Совершенствование производства фарфоровых и фаянсовых изделий. М., «Легкая индустрия», 1973. 248 с.

ГЛАВА III

ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТАВОВ И ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ФАРФОРА, ПОЛУФАРФОРА, ФАЯНСА И МАЙОЛИКИ

1. СОСТАВЫ ФАРФОРА И ФАЗОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Состав керамической массы классического твердого фарфора: 50 масс. % глинистых (в основном каолина), 25% калиевого полевого шпата, 25% кварца, глазурь тугоплавкая полевошпатовая. Конечная температура обжига — 1380—1430° С; изделия после обжига имеют водопоглощение 0,03—0,06% и отличаются белизной, пропускают свет в тонком слое.

Химический состав массы такого фарфора, %: кремнезема 64,4, глинозема 24,4, окиси калия 4,2. Потеря при прокаливании 7%. Молекулярный состав фарфора — $0{,}2\,(R_2O + RO) \cdot 1Al_2O_3 \times 4SiO_2$ или после приведения $R_2O + RO$ к единице — $1\,(R_2O + RO) \cdot 5Al_2O_3 \cdot 20\,SiO_2$.

Химическую, термическую устойчивость и огнестойкость фарфора можно усилить вводом дополнительного количества глинозема, например в химическом фарфоре (табл. III.1).

Мягкий фарфор — широкое понятие. Состав массы полевошпатового мягкого фарфора: 50—45% глинистых, 32—38% калиевого полевого шпата, 32—25% кварца. Конечный обжиг при температуре 1300—1320° С; фарфор белый, просвечивающий лучше, чем твердый фарфор, но менее термостойкий и прочный.

Фарфор мягкий костяной имеет в массе 43—50% золы костей крупного скота, 11–21% кварца или кремня, 11—40% каолина, 18—19% беложгущейся глины.

Второй обжиг проводится при температуре 1250° С. Глазурованное изделие обладает высокой просвечиваемостью и декоративностью.

«Париан» (разрабатывается английскими керамиками с 1840 г.) — разновидность мягкого неглазурованного фарфора; его состав: 67% полевого шпата, 33% каолина. Существует ряд вариаций состава мягкого фарфора с использованием даже свинцового стекла. После обжига при температуре 1200–1250° С изделия обладают лоснящейся хорошо моющейся поверхностью.

Таблица III.1

Расчетный состав фарфора разных типов

Тип фарфора	Состав в системе диаграммы состояния, %			Содержание стекловидной фазы, определенное графически по диаграмме состояния, %
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	
Химический	52—62,5	41—33,5	7–3,8	42—55
Хозяйственный	70,5—68	23,5–26	6–6,9	54—63
Высоковольтный	73—66,5	22—25,7	4,6–7,8	68–64
Мягкий	72—68,8	22,7—20	7,3–8,4	69—73
Многокварцевый	77,5–75	18–15,5	7—6,3	73–78
«Париан»	60,3—62	26—27,3	8,4—12,7	79–80

Фарфор многокварцевый (табл. III.1) также относится к мягким фарфорам, обладая повышенным содержанием стеклофазы и хорошей просвечиваемостью. Мягкие фарфоры называются также художественными.

Для рассмотрения фазового состава фарфора можно исходить из диаграммы равновесных состояний системы $K_2O—Al_2O_3—SiO_2$ (рис. III.1). В поле муллита этой диаграммы можно нанести точки, отвечающие приведенным составам фарфора, соответственно трем указанным компонентам. Для приведения можно пользоваться известными коэффициентами Рихтерса [1].

Точки расположатся вдоль изотерм; точки, отвечающие наиболее тугоплавким составам фарфоров, разместятся вдоль изотермы 1750° С, менее тугоплавким – вдоль изотермы 1600° С и между изотермами

1600—1500° С. Кружками обозначены составы хозяйственного фарфора, крестиками — высоковольтного фарфора, треугольниками — мягкого фарфора, *П* — «Париан» — художественный мягкий фарфор, *К* — фарфор с повышенным содержанием кварца — многокварцевый мягкий фарфор, *X* — химический фарфор.

Благодаря тому что в фарфоре содержание стекловидной фазы обычно колеблется от 60 до 80%, свойства его в значительной степени зависят от количества и состава этой фазы. Поэтому целесообразно приближенно рассчитать фазовый состав фарфора. Это можно сделать, пользуясь правилом рычага и допустив, что в приведенном

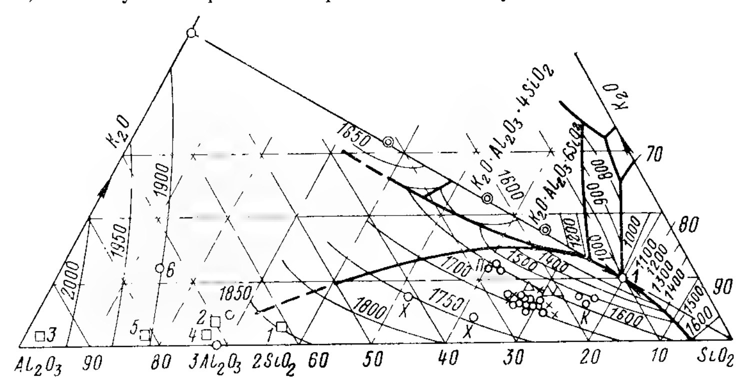


Рис. III.1. Система $K_2O—Al_2O_3—SiO_2$

составе фарфора количество эвтектического расплава в тройной точке *1* систем $K_2O—Al_2O_3—SiO_2$ соответствует количеству стеклофазы (см. табл. III.1). Можно также использовать прием расчета, изложенный ниже.

Между содержанием стекловидной фазы в фарфоре и его назначением имеется соответствие. Наименьшее содержание стеклофазы — наибольший процент глинозема и соответственно наибольшая тугоплавкость (1750° С) отвечает составам термостойкого химического фарфора. Напротив, художественный «Париан», известный своей хорошей просвечиваемостью и малой термостойкостью, содержит до 80% стеклофазы.

Фазовый состав фарфора можно приближенно рассчитать, исходя из химического состава фарфора, который в свою очередь можно рассчитать, исходя из состава его массы и данных анализа сырья.

Пример. Требуется рассчитать фазовый состав фарфора, если состав фарфоровой массы приведен в последней графе, а составы сырья — в предшествующих графах табл. III.2.

Пересчитаем все перечисленные в табл. III.2 материалы на прокаленный состав и определим количество каждого окисла соответственно содержанию того или иного материала по рецепту. Например, кремнезема, вводимого с каолином, поступит в фарфор $x = (47{,}5 \cdot 42) : (100 - 12{,}23) = 22{,}7\%$; кремнезема, вводимого с полевым шпатом, 12,2%; кремнезема с кварцевыми отходами 27,4%, с бентонитом 3,07%, с боем утельным 2,11% и с политым боем 3,56%; всего 71,04%.

Соответственно после подсчетов получим для TiO_2 — 0,34%, для Al_2O_3 — 23,7%, для Fe_2O_3 — 0,33%, для CaO — 0,57%, для MgO — 0,43%, для K_2O — 2,90%,

Таблица III.2

Химический состав фарфора и массы

Материал	Содержание, %								Потери при прокаливании, %	Состав массы, %
	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O		
Каолин алексеевский (обогащенный)	47,50	0,57	37,41	0,35	0,48	0,30	1,08	0,08	12,23	42
Полевой шпат талдыкурганский	67,23	сл.	18,42	0,19	0,45	0,21	10,2	3,11	0,21	18
Кварцевые отходы Алексеевского месторождения	97,50	0,11	0,83	0,15	0,26	0,33	0,17	0,11	1,55	28
Бентонит огланлинский	73,37	0,19	13,87	1,14	2,62	2,81	0,33	1,36	4,24	4
Бой утельный	69,83	0,67	24,30	0,43	0,79	0,44	2,10	0,89	0,59	3
» политой	71,08	0,42	22,62	0,47	0,90	0,54	2,68	0,85	0,44	5
Фарфор	71,04	0,34	23,7	0,33	0,57	0,43	2,90	0,85	—	100

для Na_2O — 0,85%. Эти величины будут характеризовать расчетный химический состав фарфорового черепка, полученного из керамической массы указанных в табл. III.2 составов и сырья.

Основываясь на полученных данных, можно приближенно подсчитать фазовый состав фарфора (количество муллита, кварца и стеклофазы), предполагая, что половина содержания глинозема, входящего в состав прокаленных каолина и глины, используется для образования муллита. В нашем примере содержание муллита в фарфоре будет

$$\frac{426\,(17{,}9 - 0{,}5)\,0{,}5}{306} = 12{,}8\%,$$

где 426 — молекулярная масса муллита;

17,9 — содержание глинозема в прокаленном каолине, взятом по рецепту (37,41 : 0,8777·0,42); аналогично в бентоните оно составит 0,5%;

306 — содержание глинозема в моле муллита.

Кремнезема в муллите будет связано (120·12,8) : 426 = 3,6%; соответственно глинозема — 9,2%.

Количество стекловидной фазы можно рассчитать, руководствуясь тем соображением, что K_2O и Na_2O полностью относятся к калиевому и натриевому полевым шпатам, которые, расплавляясь, образуют основное количество стеклофазы. В таком случае микроклинового стекла будет (2,9·556) : 94 = 17,1%, альбитового — (0,85·524) : : 62 = 7,2%. В нем будет связано 16% кремнезема

$$\left(\frac{360 \cdot 17{,}1}{556} + \frac{360 \cdot 7{,}2}{524}\right).$$

Учитывая приведенные выше 3,6% кремнезема из муллита, всего будет связано 19,6% кремнезема; останется 71 — 19,6 - 51,4% свободного кремнезема.

Количественный фазовый состав керамики определяют с помощью микроскопа подсчетом минеральных составляющих в травленом полированном шлифе: травление производят 3%-ным раствором $NH_4F \cdot HF$ в течение 10 мин.

Строение фарфора должно быть однородным, т. е. характеризоваться относительно равномерным распределением твердых фаз и незначительным содержанием газовой фазы.

Определяющие признаки хорошего качества строения фарфора под микроскопом таковы: зерна кварца в количестве 8—18% и размером 12—25 мкм в поперечнике должны быть окружены каймой толщиною 3—4 мкм. Муллитовая фаза должна быть отчетливо выражена в псевдоморфазах по полевому шпату в виде иголочек длиной 2—6 мкм, которые могут образовать скопление в участках полевошпатового расплава. Границы расплавившихся зерен полевого шпата должны быть размыты и плохо различимы под микроскопом. Газовые включения округлые, равномерно распределены в количестве 2—5%, имея преобладающие размеры 10—15 мкм (по Л. Н. Никулиной).

Таблица III.3

Свойства фарфора разных типов

Свойства	Твердый фарфор неглазурованный	Твердый фарфор глазурованный	Талько-полевошпатовый фарфор	Кордиеритовый фарфор	Циркониевый фарфор
Средняя плотность	2,62—2,42		2,6	2,1—2,5	3,4—3,8
Объем закрытых пор, %	4,1—7,9		До 1	До 7	До 10
Прочность обожженного фарфора × 10^5, Н:					
при изломе пластично-формованного	400—780	520—1190	950—1450	460—1000	1300—1650
при изломе прессованного	260—590	420—900	—	330—600	—
при растяжении пластично-формованного	200—400	250—530	530—900	200—330	800—850
при растяжении прессованного	100—200	130—260			
при сжатии пластично-формованного	2600—4300	3700—6600	5300—9000	2600—4600	6000
при сжатии прессованного	2000—3300	2600—4000	—	—	—
Модуль упругости × 10^7, Н	528—8000		8500—10 500	4600—10 000	14 000—16 000
Прочность при ударе, Н см/см²	90—200		300—350	200—230	400—700
К. т. р. в интервале 20—700 × 10^{-6}, °С	4—6,5		6—8	2—4	4,8—4,9
Теплоемкость, ДжК × 10^3	0,798—1,27		0,84	0,84	0,76
Теплопроводность, Вт (м·К)	2,9—4,65		5,8—6,4	4,5—6	12,9—13,9
Диэлектрическая проницаемость	5,2—6		6,1—7	4,1—5	8,5—9,5
Пробивное напряжение при 50 Гц, кВ м	25—35		35—40	5—20	20—25
Объемное сопротивление, Ом·см, при 50 Гц:					
при 20 С	10^{12}—10^{13}		10^{14}—10^{15}	10^{11}—10^{14}	—
» 300 С	10^6—10^7		10^8—10^9	10^7—10^9	—

Свойства некоторых типов фарфора указаны в табл. III. 3.

2. СОСТАВЫ И СВОЙСТВА ПОЛУФАРФОРА И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАРФОРА

Полуфарфор — прочный недорогой материал, широко используемый в виде посуды для предприятий общественного питания и для изделий санитарно-технического назначения. Изготовляют его из тех же видов сырья, что и фарфор; водопоглощение от 0,5 до 5%. Его можно получить по схеме однократного обжига при температурах 1230—1280° С с глазурованием по сырому черепку или по схеме двукратного обжига, как фаянс, т. е. с утельным обжигом при температуре 1230—1280° С и политым обжигом при 1000—1120° С.

Составы зарубежного полуфарфора отличаются от отечественных бо́льшим содержанием полевого шпата (до 36%) и меньшим — глины.

Составы полуфарфора некоторых отечественных заводов с обжигом при температуре 1230—1250° С приведены в табл. III.4.

Таблица III.4

Составы полуфарфора

Материал	Составы, % 1	2	3	4 (опытная) масса
Каолин просяпский	31	30	30	27
Глина пластичная	26	25	25	20
Песок или кварц молотый	28	26	26	22,5
Полевой шпат	10	10	9	30,5
Бой политой	5	9	10	—

Показатели свойств пробной массы после обжига при температуре 1250° С были следующие:

Воздушная усадка, %	5
Усадка после обжига, %	13
Водопоглощение, %	0,05
Прочность при изгибе, МПа (кгс/см²)	4,7 (48)
То же, после обжига, МПа (кгс/см²)	75,5 (770)
К. т. р. · 10^{-6}	6,0
Белизна, %	69
Просвечиваемость при толщине плитки 1,12 мм	0,23

Уменьшение содержания глинистых компонентов в массе создает пониженную прочность полуфабриката и требует точного соблюдения технологического режима формования и сушки. Увеличение этих компонентов на 2—3% уменьшает склонность изделия к растрескиванию.

Расширение интервала готовности массы в обжиге зависит и от состава полевого шпата. Увеличение содержания окиси натрия за счет окиси калия уменьшает этот интервал.

Вместе с тем опыт специалистов США показал целесообразность широкого использования нефелиновых сиенитов (нефелин — $3Na_2O \times K_2O \cdot 4Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$) при производстве столового полуфарфора, плиток для пола и стен, санитарно-технической керамики, электрофарфора. Нефелиновый сиенит усиливает спекание фарфора и вместе с тем немного увеличивает термическое расширение в сравнении с микроклином, вследствие этого глазурь на изделии оказывается в напряженно-сжатом состоянии.

Типичный состав американской массы со спеканием при температуре 1120° С: нефелинового сиенита 54%, кремня 6%, каолина 24%, пластичной глины 16%. Введение 5—10% кремня в массу увеличивает термическое расширение полуфарфора. Такой состав массы используют для производства тарелок на автоматических линиях.

Обогащением нефелинового сиенита в США получают продукт с содержанием 0,08% Fe_2O_3. Можно комбинировать нефелиновый сиенит со сподуменом в соотношении 2 : 1 (по А. А. Копейкину) и получать полуфарфор после обжига при температуре 1050° С с водопоглощением 4,5%.

Полезна также частичная замена (до 6%) полевого шпата тальком (по З. А. Носовой), благодаря чему получается низкоплавкая эвтектика и можно повысить содержание кварца.

Вводя еще больше талька (10%), можно вызвать образование кордиеритовой фазы, как это прослеживается по диаграмме состояния $MgO—Al_2O_3—SiO_2$, благодаря чему снизится коэффициент теплового линейного расширения изделия. Частичная замена полевого шпата на нефелиновый сиенит (17% полевого шпата плюс 17% нефелинового сиенита) позволяет получить изделия при обжиге до 1140—1180° С и почти без водопоглощения.

Автоматизацию производства полуфарфора целесообразно основывать на использовании массы и глазури, пригодных для однократного обжига при температуре не выше 1150° С.

Разновидность зарубежного низкотемпературного фарфора хозяйственного назначения имеет водопоглощение 0,5—3%; масса грубозернистая: частиц более 50 мкм около 10%, частиц 50—10 мкм—35% (по В. В. Коробкиной). Полуфарфор покрыт легкоплавкой фриттованной или смешанной с фриттой глазурью, предварительно заглушенной. Низкотемпературный фарфор можно получить по фарфоровой схеме с первым обжигом при температуре 750—800° С и вторым обжигом — при 1190—1200° С, а также по фаянсовой схеме с первым обжигом при 1250° С и вторым обжигом при 1100—

1160° С и однократным обжиге при 1150° С. Однократный обжиг используется в механизированном производстве плоских изделий.

Такие изделия покрываются легкоплавкими глазурями, в которых содержание окиси натрия превосходит содержание окиси калия; глазури фриттуются из шихты, содержащей, кроме натрового полевого шпата, также доломит, мел, окись цинка, соединения бора и даже свинца.

Глазурь белая, заглушенная или под слоновую кость, толщина ее 0,1—0,23 мм, блеск и разлив удовлетворительные, термостойкость по Харкорту 3—4 теплосмены. Химический состав масс и глазури для подобных изделий приведен в табл. III.5.

Таблица III.5

Химический состав масс и глазури, %

Материал	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	Li_2O	ZnO	Потери при прокаливании
Масса для утолщенной тарелки «витриес чайна»	65,84	0,12	0,36	22,09	1,15	0,40	3,22	1,07	–	–	5,55
Масса завода «Себринг» (Италия)	63,40	0,28	0,42	23,42	0,86	0,62	2,67	0,55			7,55
Глазурь	60,70	0,08	0,19	10,5	6,35	0,27	1,86	0,12	0,60	1,80	—

3. СОСТАВЫ И СВОЙСТВА ФАЯНСА И МАЙОЛИКИ

Фаянс. Основное отличие фаянса от фарфора состоит в повышенном содержании глины в массе, достигавшем 75—85% (остальное — кремень или кварц) в глинистом, наиболее древнем фаянсе, и низкой температуре обжига (950—960° С). Такой фаянс покрыт обычно цветной глухой или прозрачной глазурью. Высокая пористость глинистого фаянса (19—20%) по водопоглощению и малая механическая прочность типичны для этого фаянса.

В средние века появился мягкий, известковый фаянс, содержавший, кроме глины и кварца (или кремня), еще 10—35% известняка или мела; температура обжига стала выше (1100—1160° С), но все же пористость составляла 19—22% (по водопоглощению) при малой прочности.

Более поздний, твердый (или как его обычно называют полевошпатовый) фаянс получил широкое распространение с конца XIX в. В него вместо мела или при частичной замене мела вводят полевой шпат. Обжигают дважды: первый обжиг при температуре 1230—1280° С, затем глазуруют и обжигают вторично при 1050—1150° С. В наше время применяют смешанный состав массы фаянса пористостью по водопоглощению 9—12%, прочностью при изломе 14,7—29,4 МПа (150—300 кгс/см²). Молекулярная формула: $1\,(R_2O + RO) \cdot 5{,}5 — 8Al_2O_3 \cdot 25—35\,SiO_2$. Составы фаянсовых масс приведены в табл. III.6.

Таблица III.6

Составы фаянсовых масс, %, и температуры обжига

Материал и температура обжига	Известковый фаянс	Полевошпатовый фаянс	Фаянс с комбинированными плавнями
Глина и каолин	40—55	50—55	50—60
Кварц молотый или кварцевый песок	35—45	40—50	35—45
Полевой шпат	—	5—12	1—2
Известняк (мрамор)	5—20	—	2—7
Доломит	—	—	2—6
Температура обжига, °С	1060—1160	1230—1280	1180—1230

Каолины и пластичные беложгущиеся глины вводят в соотношениях 20—60% глины и 80—40% каолина. Легкоплавкая, предварительно фриттованная глазурь на фаянсе не устраняет диффузии паров влаги в пористый полуфабрикат. Поглощая влагу, изделие немного расширяется, что вызывает многочисленные разрывы (цек) глазури. Введение 3—4% мела и особенно добавки $MgCO_3$, или талька, а также повышение температуры обжига с 1160° С на 20—40° С может устранить цек, связанный с водопоглощением полуфабриката. Поэтому предпочтительно использование в фаянсовых массах доломита вместо мела — магнезиальный фаянс значительно прочнее известкового. Кварцевый песок и молотый кварц заменяют кремень, принятый в средневековых рецептах фаянса. Чистые виды сырья придают белизну фаянсу, который белее фарфорового, так как содержит меньше стеклофазы, снижающей белизну в фарфоре.

Флюсующее и уплотняющее действие полевого шпата в фаянсовой массе тем интенсивнее, чем тоньше его помол. Для фаянсовой массы пригодны алунитовые породы: например алунит $(K, Na)_2O \cdot 3Al_2O_3 \times \times 4SiO_2 \cdot 6H_2O$. Основные свойства фаянса приведены в табл. III.7.

Таблица III.7

Основные свойства фаянса

Показатель	Мягкий фаянс	Твердый фаянс
Водопоглощение, %	19—22	9—12
Прочность при изломе, МПа (кгс/см²)	5,8—19,6 (60—200)	14,7—29,4 (150—300)
Прочность при сжатии, МПа (кгс/см²)	58,8—88,2 (600—900)	98—107,8 (1000—1100)
К. т. р·10^{-6}	5—6	7—8

Майолика. Средневековая майолика по составу массы ничем не отличалась от глинистого фаянса, но она глазуровалась непрозрачной, окрашенной в белый цвет окисью олова, глазурью для сокрытия природного красновато-коричневого цвета изделия и расписывалась минеральными, не сгорающими при обжиге красками.

Легкоплавкая окрашенная глухая глазурь всегда покрыта

сеткой цека, что характерно для старой майолики и служит предметом имитации в коммерческих целях.

Современную отечественную майолику изготовляют из легкоплавких окрашенных глин, содержащих 5—15% CaO, и покрывают легкоплавкой, не содержащей свинец глазурью. Применение окислов свинца в глазурях запрещено. Примерный состав массы, %: глины 63—68, мела 20, кварцевых отходов 5—17, боя утельного 7. После обжига при 1040—1050° С водопоглощение черепка составляет 16—17%, прочность при изломе 29,4—49 МПа (300—500 кгс/см²). Для нашей майолики разработаны стронциевые глазури. Обжиг майолики может быть однократным, если это позволяет глина, и двукратным. Политой обжиг проводится при температуре 880—900° С.

4. СОСТАВЫ И СВОЙСТВА МУЛЛИТО-КОРУНДОВЫХ И НЕКОТОРЫХ ДРУГИХ ВИДОВ КЕРАМИКИ

В последние десятилетия получили распространение керамические массы, в которых некоторые свойства могут быть усилены посредством ввода или синтеза в них тех или иных минералов или соединений. Так, посредством добавления Al_2O_3 в группу составов системы $(R_2O + RO) — Al_2O_3 — SiO_2$ можно получить муллито-корундовые изделия, необходимые в качестве огнеупоров при производстве фарфора и фаянса.

Приведя посредством коэффициента Рихтерса составы муллито-корундовой керамики, показанные в табл. III.8, к тройному составу, их можно нанести для сопоставления на диаграмму $K_2O—Al_2O_3—SiO_2$ (см. рис. III.1 — составы, обозначенные кубиками). Составы 7—9 отмечены на рис. III.2.

Таблица III.8

Составы муллито-корундовых материалов, %

№ п.п.	Наименование массы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO + CaO	Сумма $R_2O—RO$
1	АК-60	37,0	—	60,0	1,0	—	2,0
2	АК-70	26,0	—	70,0	1,0	—	3,0
3	АК-98	1,0	—	98,0	1,0	—	0,2
4	АМ-70	27,0	1,5	70,0	0,6	—	0,9
5	АМ-80	18,0	1,2	80,0	0,4	—	0,4
6	102	13,4	—	76,8	0,1	K_2O — 6,2	9,6
7	Уралит	17,0		72,0	0,7	Около 5,5	10,0
8	АКТ-35	54,0	—	35,0	—	» 10	11,0
9	АКТ-50	42,0	—	50,0	—	» 7	8,0

Свойства названных выше материалов указаны в табл. III.9.

В группе муллито-корундовых масс АМ-70 и АМ-80 изделия изготовлены на основе силлиманита и характеризуются хорошо развитой (благодаря действию минерализатора TiO_2) фазой муллита. Эти материалы пригодны для ответственных участков печей в усло-

виях быстрой смены температур. Предельная температура эксплуатации 1700° С.

В керамических производствах США муллито-корундовый огнеупор, содержащий 90% Al_2O_3 с 16% пористости, имеет прочность при сжатии 44,1 МПа (850 кгс см²); используется в условиях переменных температур до 1800° С. Тот же огнеупор, содержащий 99 и

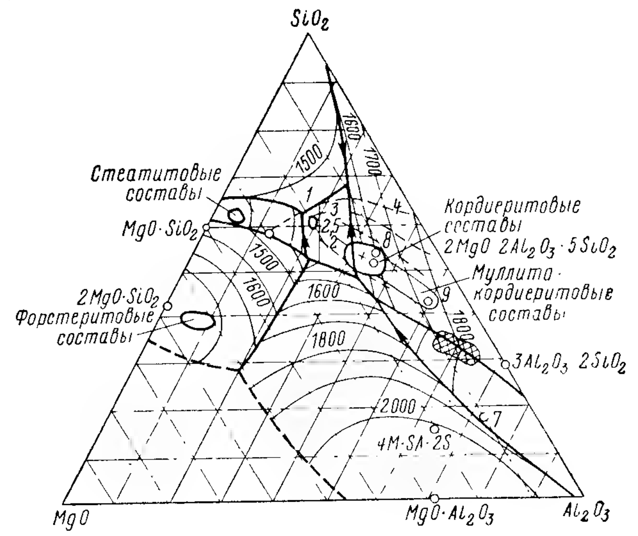


Рис. III.2. Система $MgO—Al_2O_3—SiO_2$

Таблица III.9

Свойства муллито-корундовых материалов

№ п.п.	Наименование массы	Объемная масса	Открытая пористость, %	Применяемая температура, °С	Термостойкость	Прочность при сжатии при 20° С, МПа (кгс/см²)	Прочность при изгибе, МПа (кгс/см²), при температуре, °С	К. т. р. 20—1100° С·10
1	АК-60	2,2	25	1450	Удовлетворительная	294 (300)	1400°—36,2 (37)	5,2
2	АК-70	2,55	22	1600	Средняя	392 (400)	1400°—39,2 (40)	5,9
3	АК-98	2,85	30	1800	Удовлетворительная	540 (550)	1400°—25,4 (26)	8,0
4	АМ-70	2,65	20	1650	Высокая	490 (500)	1400°—49 (50)	5,2
5	АМ-80	2,8	21	1700	»	540 (550)	1400°—19,6 (20)	5,8
6	102	3,36	—	1500	»	—	20°—304 (3100)	5,5
7	Уралит	3,19	—	1100	»	—	20°—216 (2200)	4,9
8	АКТ-35	2,1	19	1100	»	—	1100°—1,4 (14,8)	3,38
9	АКТ-50	2,15	23	1280	»	892 (900)	1300°—4,6 (46)	3,38

Примечание. Некоторые данные в табл. III.8 и табл. III.9 приведены по проспектам «Аниа-верке» (ФРГ).

99,7% Al_2O_3, с 20% пористости и прочностью при сжатии 41,1 МПа (420 кгс см²) используется при температуре до 1850° С.

Масса 102 обладает хорошей стойкостью к истиранию и вакуумплотностью.

Масса уралит содержит минимальное количество щелочных окислов (около 0,5—0,6%) и благодаря высокому содержанию глинозема обладает большой механической прочностью, значительным омическим сопротивлением при обычной и повышенной температурах; тангенс угла потерь составляет при 20° и частоте 1—3 МГц около $5 \cdot 10^{-4}$ и пробивное напряжение 30—35 кВ/мм. Материал уралит (разработан И. Я. Юрчаком) используется в качестве изолятора к запальным свечам двигателей внутреннего сгорания и для деталей радиоаппаратуры. Высокая объемная масса и стойкость к истиранию позволяют успешно применять уралит в качестве мелющих тел в шаровых мельницах фарфорового и фаянсового производств, что повышает их эффективность.

Рис. III.3. Коэффициенты термического расширения обожженного фарфора:

1 — при 1250° С; *2* — при 1300° С; *3* — при 1410° С; *4* — плавленный кварц

Муллито-кордиеритовая керамика. Группа масс АКТ-35 и АКТ-50 (см. табл. III.8) характеризуется после обжига кристаллическими фазами в виде муллита и кордиерита в системе $MgO—Al_2O_3—SiO_2$ (см. рис. III.2, точки *8* и *9*). Изделия этих составов обладают высокой термостойкостью и большой механической прочностью, что особенно важно при эксплуатации изделий (капселей, подовых плит и др.) в условиях быстрой смены температур при ускоренных обжигах и при изменении газовой среды в печи.

Масса АКТ-35 находится в поле кордиеритовых составов (кордиерит — $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$); пунктирные линии с цифрами *2*; *2,5*; *3* и *4* на рис. III.2 означают изолинии одинаковых коэффициентов расширения (по Бильсу и Куку — $2 \cdot 10^{-6}$; $2,5 \cdot 10^{-6}$ и т. д.). Как видим, эти коэффициенты малы, что в сущности и определяет высокую термическую стойкость кордиеритсодержащих материалов. В центре поля находится точка состава, обозначенная крестом, исследованного О. Краузе (1934 г.). Он установил весьма существенное обстоятельство, а именно — значительное изменение величины линейного расширения изделий из массы АКТ-35 в зависимости от температуры его обжига. На рис. III.3 приведены значения термического расширения в процентах к начальной длине при температуре обжига от 1250 до 1410° С. Очевидно, для получения изделий заданного фазового состава и высокой термостойкости необходимо осу-

ществлять обжиг при допустимо высокой температуре и при надлежащей выдержке, обеспечивающей развитие фаз кордиерита и муллита.

Образование кордиеритовой фазы обеспечивается вводом в массу талька ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$).

Однако большое технологическое затруднение состоит в малом температурном интервале спекания (15—20° С), которым располагают кордиеритовые составы. В них при обжиге образуется много (40—45%) стекла с низкой вязкостью для состава, обозначенного крестиком на рис. III.2, и еще больше для других составов; из такого стекла кристаллизуются кордиерит и муллит в разных соотношениях.

Для увеличения интервала спекания применяют добавку калиевого полевого шпата, количество которого, по данным Т. Хаазе, должно быть взято из расчета замены 2% MgO на K_2O. В этом случае получатся самозаглазурованные изделия без цека. Подобрать глазурь к кордиеритовым изделиям нельзя из-за малого коэффициента их расширения. Расширение интервала обжига при 1200° С может быть доведено с 15 до 40° С вводом 5% цинковых белил.

Для расширения интервала спекания можно пойти по другому пути — повысить температуру плавления массы путем ввода в нее двуокиси циркония или циркона; первая плавится при 2700, вторая — при 2550° С.

Составы, размещенные в заштрихованных участках системы (см. рис. III.2), позволяют получить обжигом при 1360° С искростойкий и с малым коэффициентом расширения муллито-кордиерито-корундовый фарфор.

Цирконсодержащая керамика. Цирконовый фарфор высоких эксплуатационных свойств можно изготовить из обогащенной цирконовой руды с малым содержанием окиси железа (не более 0,15%) по обычной технологии производства фарфора, так как линейное расширение циркона и муллита при нагревании практически одинаково. Состав массы — циркон, каолин, полевой шпат, беложгущаяся глина типа часов-ярской. Обжиг осуществляют при 1320—1380° С. Технические показатели цирконового фарфора значительно выше показателей полевошпатового: прочность при изгибе соответственно равна 147 и 68,6—89,2 МПа (1500 и 700—900 кгс/см²); коэффициент линейного расширения при 20—200° С 3,4 и 3,2—4,4; удельное объемное сопротивление одинаково — 10^{13} Ом·см, пробивное напряжение 30—35 и 25—30 кВ/мм.

Двуокись циркония используют в стабилизированном (с помощью CaO и MgO) состоянии. В химическом отношении такой материал весьма инертен. Примером могут служить изделия из массы АЦ-90. С 90% ZrO_2 двуокись циркония пригодна для эксплуатации при температуре до 1450° С (в частности, для размещения при обжиге деталей из титаната бария). Другой вид циркониевой керамики на основе двуокиси циркония, изготовленный методом горячего литья с обжигом до 1750° С, показал нулевое водопоглощение, имел объемную массу 5,2 при плотности 5,6, прочность при изгибе 187,3 МПа (1900 кгс/см²), коэффициент линейного расширения при температуре

20—700° С $9,25 \cdot 10^{-6}$. Высокая прочность и высокая плотность такого материала позволяют использовать его в качестве мелющих тел для мельниц сухого и мокрого размолов.

Стеатитовая керамика. К обширной группе керамических составов системы $MgO—Al_2O_3—SiO_2$ относятся стеатитовые — в поле энстатита (см. рис. III.2). Эти составы используют главным образом для изготовления радиокерамики. Составы, свойства и технология радиокерамических стеатитовых масс рассмотрены в соответствующих руководствах. Основным сырьем служат тальки высокой чистоты — алгуйский и онотский с добавкой $BaCO_3$ (8—16%, считая на BaO).

Волластонитовая керамика. Наличие в нашей стране крупных месторождений волластонита ($CaO \cdot SiO_2$) определяет перспективу его использования после обогащения в тонкокерамических массах по трем направлениям: как заменитель части известняка и кремня в массах типа фаянсовых, как самостоятельный вид керамического сырья и в глазурях.

Волластонит обеспечивает малую и равномерную усадку при сушке, придавая значительную прочность высушенному изделию, что связано с игольчатым строением кристаллов волластонита (пироксеновая цепочечная структура). В плиточных керамических массах (вводят до 40% волластонита) этот минерал обеспечивает малую огневую усадку при обжиге до 950—1050° С, водопоглощение около 14—16%, прочность при изломе до 24,5 МПа (250 кгс/см²) и хорошую термостойкость.

В воде волластонит показывает основную реакцию (pH 9,9) и слабую растворимость (0,0095 г в 100 мл воды).

В глазурях по фарфору и фаянсу волластонит придает блеск и гладкость.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Августиник А. И.** Керамика, изд. 2-е, М., Госстройиздат, 1975. 660 с.
2. **Августиник А. И.** Физическая химия силикатов. Л., Химиздат, 1947, 322 с.
3. **Штейнберг Ю. Г.** Стронциевые глазури, изд. 2-е, М.—Л., Стройиздат, 1967. 174 с.
4. **Haase T.** Keramik, Bergakademie. Freiberg, 1961. 416 s.
5. **Дудеров Ю. Г., Дудеров И. Г.** Расчеты по технологии керамики. Справочное пособие. М., Стройиздат, 1973. 80 с.

ГЛАВА IV

СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ

Основными сырьевыми материалами для изготовления фарфоровых и фаянсовых изделий являются глинистые материалы (каолины и белые после обжига глины), полевошпатовые и кварцевые породы, доломит [1, 2, 3].

Глинистые материалы придают фарфоровым и фаянсовым массам формовочные и литьевые свойства, механическую прочность в воздушносухом состоянии и необходимые эксплуатационные свойства: механическую и термическую прочность и химическую стойкость после обжига.

Кварц при формовании играет роль отощающего вещества, а при обжиге фарфора он, частично растворяясь в полевошпатовом стекле, увеличивает его вязкость. Основная же часть зерен кварца остается и является как бы каркасом, предохраняющим изделие от деформации в процессе обжига.

Развитие стекловидной фазы в фарфоре и связывание составных частей массы обеспечиваются преимущественно плавнями (полевым шпатом, пегматитом и др.).

1. ГЛИНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Глинистые материалы представляют собой тонкодисперсные (1 –0,01 мкм) природные водные алюмосиликаты, которые при замешивании с водой образуют пластичное тесто, из которого можно формовать различные изделия, приобретающие после сушки и обжига определенную прочность.

Широко распространенные в природе глины и каолины являются продуктами окончательного или неполного разрушения полевошпатовых горных пород.

Превращение горных пород в глины и каолины — это сложный комплекс воздействий механических, физических и химических факторов, которые в общем рассматриваются как процессы выветривания.

Процесс выветривания — это химическое и механическое разрушение породы (под действием воды, нагрева, охлаждения и движения воздуха), скорость которого зависит от действующих агентов и от состава и структуры самой породы. Разрушение пород сопровождается значительным измельчением и растворением минералов. Это ускоряет и облегчает развитие химического выветривания (каолинизации) под воздействием воды, кислорода и особенно углекислоты воздуха, а также других факторов.

В результате гидролиза силикатов и присоединения к остатку конституционной воды образуется новое вещество, соответствующее минералу каолиниту $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Процесс каолинизации можно представить следующим уравнением: $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 + CO_2 + 2H_2O = Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + R_2CO_3 + 4SiO_2$.

Образовавшиеся в результате выветривания каолины и оставшиеся на месте образования называются коренными, первичными. В них содержится много крупных зерен кварца почти неизменной формы.

Текучие воды уносят частицы образовавшегося глинистого материала в низкие места, где они осаждаются. Так образуются вторичные, или осадочные, глины и каолины. Обычно они находятся в отмученном состоянии. Осадочные глинистые материалы загрязнены различными, часто мельчайшими примесями (кварц, слюда, окислы железа, соединения марганца, титана, органические вещества и др.).

Для технологии изготовления фарфоровых и фаянсовых изделий важна совокупность ряда свойств глин и каолинов как в естественном состоянии, так и при высоких температурах обжига. Некоторые свойства глинистых материалов проявляются лишь при замешивании с определенным количеством воды.

Глинистое тесто и его структура. Глины и каолины представляют собой смесь частиц, различных по минералогическому составу и степени дисперсности, что существенно сказывается на их свойствах. При замешивании сухой глины с водой последняя вытесняет воздух, находящийся между частичками глины. В процессе перемешивания равномерно распределяются частицы глины и воды, образуется глиняная масса, или тесто. Если воды в массе мало, масса пригодна для прессования изделий. С увеличением количества воды масса становится пластичной и приобретает способность формоваться при небольших усилиях. Дальнейшее добавление воды приводит к образованию суспензий, из которых можно получать изделия методом отливки.

К технологически важным свойствам глинистых материалов относятся пластичность, связующая способность, воздушная усадка, разжижаемость, зыбкость и др. [4].

Пластичность — это способность тестообразной глины принимать под влиянием внешних воздействий нужную форму без разрывов и трещин и сохранять ее, когда эти воздействия прекращаются. Глинистые материалы становятся пластичными при замешивании их с водой, причем количество воды, необходимое для проявления пластичности, у различных глинистых материалов колеблется в широких пределах.

Вода, добавляемая в глину, играет роль смазки и облегчает скольжение частиц при деформации, а также предохраняет от разрывов глиняное тесто, в котором вязкие оболочки воды, окутывающие глинистые частички, одновременно притягиваются соседними частичками, чем и обеспечивается связность теста.

На степень пластичности глинистых материалов оказывают влияние величина и состав сорбированного комплекса, который зависит от минералогического состава глины, величины ее частиц и характера поверхности. Существенное влияние оказывают также состав и концентрация катионов в дисперсной среде. Тонкодисперсные глины имеют более высокую пластичность, чем грубодисперсные каолины, и требуют больше воды для затворения.

Известно, что в определенных пределах добавка пластичных глин вместо каолинов делает массы более пригодными для формования изделий. Это обстоятельство, по-видимому, способствует тому, что пластичность масс и их способность формоваться иногда рассматриваются как идентичные понятия, что является ошибочным. Формовочные свойства — технологическая характеристика массы, и они

не должны отождествляться с пластичностью. Более подробно этот вопрос рассматривается в главе VII «Формование изделий».

Увеличение пластичности достигается вылеживанием и вакуумированием масс, а также пластифицирующими добавками. При необходимости пластичность можно снизить введением в массы более тощих глин, кварцевого песка или шамота.

Связующая способность — это свойство глин связывать значительные количества отощающих материалов и придавать отформованным изделиям достаточную механическую прочность после сушки. Связность (механическая прочность) характеризуется сопротивлением излому воздушносухих образцов. С увеличением числа точек сцепления глинистых частичек растет связующая способность глинистых материалов. Тонкодисперсные, высокопластичные глины обладают большей механической прочностью, чем грубодисперсные каолины. Однако нет прямой зависимости между силой сцепления глинистых частиц и дисперсностью глины. Прочность сцепления частиц зависит также и от природы минералов, слагающих глины. В табл. IV.1 приведены характеристики некоторых глин, исследованных в ГИКИ [5, 6, 7].

Таблица IV.1

Характеристика глин

Глина	Состав, %, при размере фракций, мм					Сопротивление излому, МПа (кгс/см²)	Основной состав
	более 0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	менее 0,001		
Веселовская . . .	2,00	0,39	0,77	4,22	92,64	14,6 (146)	Каолинит, монотермит и гидрослюда
Трошковская (камнеподобная) . . .	—	5,45	6,82	18,90	69,91	15,6 (156)	Каолинит
Трошковская (рыхлая)	—	5,16	5,59	9,57	79,68	22,0 (220)	Каолинит с примесью монтмориллонита
Латненская . . .	5,03	6,34	3,03	19,79	65,81	9,0 (90)	Смесь галуазита с каолинитом

Воздушная усадка — это уменьшение внешних размеров изделия из пластичного глинистого теста при сушке вследствие потери им воды. После усадки изделие приобретает определенную прочность. Чем выше дисперсность глин, тем больше они требуют воды при затворении и тем больше их воздушная усадка. Добавление в глиняную массу отощающих материалов (песок, шамот) снижает ее пластичность и уменьшает величину воздушной усадки.

Существует определенная зависимость между усадкой глинистых материалов и количеством выделяемой при сушке воды затворения.

В первый период сушки усадка пропорциональна влагоотдаче. В дальнейшем, когда частицы глины соприкоснутся, продолжающееся выделение воды уже не вызывает усадки.

Воздушная усадка способствует отделению изделий от гипсовых форм при сушке.

Разжижаемость — необходимое свойство при изготовлении изделий методом литья. Из жидкой массы можно отливать изделия, не имеющие формы тел вращения, устраняя фильтр-прессование и перемин массы.

Технологически и экономически выгоднее, если в глинистой суспензии (шликере) меньше воды, но в то же время необходима жидкотекучесть шликера и большая влагоотдача при достаточной плотности и связности.

Разжижение глинистых материалов проявляется при введении электролитов в суспензию.

Наиболее полное разжижение глинистых суспензий происходит при добавке к ним щелочей, главным образом катионов натрия. Количество электролитов, необходимое для разжижения, изменяется в зависимости от минералогического состава глин, дисперсности и других особенностей. На степень разжижения влияет также концентрация электролита в суспензии. В качестве электролитов в фарфоро-фаянсовой промышленности применяют соду, жидкое стекло (силикат натрия) и др. Присутствие в растворе слабо диссоциирующих катионов (например, кальция и магния) ухудшает разжижение и иногда приводит к загустеванию шликеров.

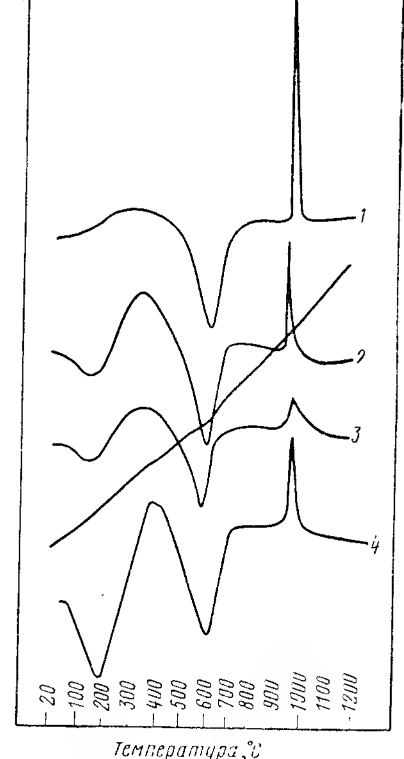


Рис. IV.1. Дифференциальные кривые термического анализа:

1 — просяновского каолина; *2* — кыштымского каолина; *3* — веселовской глины; *4* — трошковской глины

Зыбкость — способность нормального на вид глинистого теста приобретать от небольших сотрясений подвижность и растекаться. Чаще всего зыбкость наблюдается у каолинов электролитного обогащения, если перед обезвоживанием избыточная щелочность не была нейтрализована. Экспериментально установлено, что максимальная зыбкость соответствует оптимуму разжижения глинистых материалов.

Зыбкость каолинов можно снизить, если в каолиновую суспензию добавить коагуляторы (например, известковое молоко, хлористый кальций, сернокислый кальций). Применение каолинов с по-

казателем зыбкости 15 и выше вызывает зыбкость фарфоровых масс и затрудняет формование изделий.

Цвет в природном состоянии и после обжига. Глины в природном состоянии бывают белого, серого, зеленоватого, темно-серого и даже черного цветов. Белыми и окрашенными в светлые цвета чаще всего бывают каолины. Цвет глины зависит от примесей органического и минерального происхождения. Первые не опасны, так как в процессе обжига выгорают и вызванная ими окраска исчезает.

Особенно вредны в глинах примеси железистых соединений, вызывающих неприятную окраску изделий после обжига и даже черные точки («мушки»). Характер окраски фарфора и фаянса зависит от количества и степени распределения железо- и титансодержащих примесей в исходных материалах, а также от температуры и газовой среды при обжиге изделий.

Изменения при обжиге. При нагревании каолинов и глин в начальный период происходит удаление адсорбированной воды, сопровождаемое первым эндотермическим эффектом и некоторой потерей массы (рис. IV.1). При температуре 400—600° С происходит выделение конституционной воды, отмеченное на дифференциальных кривых нагревания вторым эндотермическим эффектом.

Одновременно с удалением воды происходит уменьшение объема (усадка) изделия. При температуре выше 600° С в глинах и каолинах происходят более сложные изменения и возникает их взаимодействие с другими компонентами керамических масс [8, 9].

2. ОСНОВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАОЛИНОВ И ГЛИН

Наша страна богата месторождениями глинистых материалов. К наиболее полно изученным месторождениям этого сырья, пригодного для производства хозяйственного фарфора и фаянса, относятся по каолинам: Просяновское (Днепропетровская обл.), Глуховецкое (Винницкая обл.), Алексеевское (Казахская ССР) и Кыштымское (Челябинская обл.); по беложгущимся глинам: Дружковское (УССР) и Трошковское (Красноярский край); по бентонитовым глинам: Огланлинское (Туркменская ССР) и Пыжевское (УССР) [3, 10, 11, 12].

Просяновское месторождение — самое крупное из разведанных; состоит из участков: Мало-Михайловского, Скидянского и Вершинского. Материнскими породами, из которых образовались просяновские первичные каолины, являются гранитогнейсы. По минералопетрографическому характеру эти каолины весьма разнообразны. Встречаются разновидности высокодисперсного, тонкочешуйчатого и чешуйчатого каолинов снежно-белого, белого с сероватожелтоватым или зеленоватым оттенками, розового и желтого цветов. Каолины эти содержат в значительном количестве слюду и неразложившийся полевой шпат, что можно объяснить незавершенностью процессов каолинизации.

По запасам и качеству Просяновское месторождение каолинов является лучшим в СССР и основным для фарфоро-фаянсовой промышленности. Технические требования к обогащенному просяновскому каолину (ГОСТ 6138—61) приведены в табл. IV.2.

Таблица IV.2

Технические требования к обогащенному просяновскому каолину

Показатель	Сорт			
	Высший	I	II	III
Содержание, %, не более:				
окиси железа	0,4	0,5	0,8	1,0
двуокиси титана	0,4	0,5	0,6	0,8
окиси кальция	0,8	0,8	0,8	0,8
ангидрида серной кислоты	0,3	0,3	0,3	0,4
Механические примеси, %, не более:				
остаток на сите № 2	0,02	0,04	0,05	0,10
» » » № 009	0,40	0,50	0,60	0,70
» » » № 0056	0,50	0,60	0,70	0,80
Усадка при 105—110 С, %, не менее	4	4	4	4
Порог структурообразования каолиновой суспензии, г/см³	1,28—1,36	1,28—1,36	1,28—1,36	1,28—1,36
Активная щелочность, pH, не более	9,5	9,5	9,5	9,5
Содержание влаги, %, не более	20	20	20	20

Допускается отклонение от установленных норм содержания окиси железа для высшего сорта не более 0,6%, для I сорта — 0,8; для II — 1 и для III сорта — 1,3 без изменения установленных предельных норм содержания двуокиси титана и при условии, что суммарное содержание окиси железа и двуокиси титана не превышало бы для высшего сорта 0,8, для I — 1; для II — 1,4 и для III — 1,8%.

Месторождение глуховецкого каолина отличается мощностью залегания (до 100 м). Запасы каолина велики. Материнскими породами этого каолина являлись в основном пегматиты и аплитовые граниты. Глуховецкий каолин имеет высокую дисперсность и однородность глинистого вещества. Преобладающими по цвету являются кремовые и желтые разновидности.

По техническим условиям (ГОСТ 6138—61) суммарное содержание красящих окислов (Fe_2O_3 + TiO_2) допускается для I сорта — 1,3%, для II — 1,8%. Каолин используют в производстве фаянса и капсельного припаса.

Имеются отдельные участки каолина повышенной чистоты. При селективной добыче и раздельном обогащении промышленность

могла бы получать каолин, в котором суммарное содержание красящих окислов не превышало бы 0,6% [13].

На Алексеевском месторождении девять залежей кондиционного каолина. Промышленными являются белые и снежно-белые разновидности. Глинистое вещество — каолинит с незначительной примесью гидрослюды.

Мощность слоя, отвечающая требованиям к каолину I сорта по ГОСТ 6138—61, достигает 23 м. Мощность вскрышных пород (суглинков и глин четвертичного возраста) невелика (0,8—6,9 м), что позволяет разрабатывать каолин открытым карьером.

Характерной особенностью, отличающей алексеевский каолин от просяновского и глуховецкого, является повышенное содержание окиси калия.

Алексеевское месторождение может быть сырьевой базой для заводов Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока.

Кыштымский каолин образовался из загрязненных гранитогнейсов и гранитов, не постоянных по химическому составу, и сравнительно чистых пегматитов и аплитов. Первичные каолины покрыты загрязненными переотложенными каолинами, низкосортными огнеупорными глинами и кварцевыми тонкозернистыми песками.

Отсутствие селективной добычи и недостаточное обогащение кыштымского каолина не позволяют получать продукт, удовлетворяющий требованиям фарфоровой промышленности, хотя встречаются отдельные залежи с невысоким содержанием красящих окислов (Fe_2O_3 — 0,48—0,51%; TiO_2 — 0,33—0,34%).

Временное сопротивление образцов излому в воздушносухом состоянии составляет 9,0—12,5 МПа (90—125 кгс/см^2). У образцов изделий из просяновского каолина оно составляет 1,5—2 МПа (15—20 кгс/см^2). При правильной организации работ на карьере и соответствующем обогащении можно было бы использовать каолин в производстве фарфоровых масс без добавок пластичных глин.

В настоящее время каолин можно рекомендовать только для изготовления фаянса и «каменной» посуды. По ГОСТ 4193—63 содержание красящих окислов ($Fe_2O_3 + TiO_2$) допускается для I сорта — 1,6%, для II — 1,9% и для III — 3% [14].

Дружковское месторождение известно разведанными глинами в Ново-Швейцарском, Веселовском и Ново-Райском карьерах. Слагающими минералами глин Веселовского и Ново-Райского карьеров являются каолинит, монотермит и гидрослюда типа гидромусковита. Высокая пластичность и белый цвет после обжига делают эти глины ценным сырьем для фарфоро-фаянсовой промышленности.

Технические требования фарфоро-фаянсовой промышленности к огнеупорным глинам Дружковского месторождения даны в табл. IV.3, а к глинам Трошковского месторождения, используемым для производства фарфора, — в табл. IV.4.

Трошковские глины весьма своеобразны. Они отличаются от обычно применяемых в фарфоро-фаянсовой промышлен-

Таблица IV.3

Технические требования к глинам Дружковского месторождения (МРТУ 21-40—69 и ЧМТУ 8-56—69)

Показатель	Веселовская глина			Ново-Райская глина	
	ВГК	ВС			
	для фарфора	отборная В	I сорт	отборная	I сорт
Содержание в пересчете на проявленное вещество $Al_2O_3 + TiO_2$, %, не менее	35	35	33	35	34
Сумма $Fe_2O_3 + TiO_2$, %, не более	2,5	2,6	—	—	—
Fe_2O_3, %, не более	—	—	—	1,3	1,6
Огнеупорность, °С, не ниже	1710	1710	1670	1710	1690

ности пластичных глин тем, что не набухают в воде и содержат меньше окислов железа и титана. Механическая диспергация в шаровой мельнице придает глине высокую пластичность и значительную механическую прочность после сушки.

Для Трошковского месторождения характерны две разновидности глин: камнеподобная — светло-серого и темно-серого цветов и рыхлая — от светло-коричневого до темно-коричневого цветов. Эти глины различаются между собой по дисперсности, пластичности, механической прочности в сухом состоянии, по поведению в сушке и другим свойствам. Это обусловлено различиями в химическом и минералогическом составах обеих разновидностей. Трошковская глина состоит из каолинита и монтмориллонита. Количество монтмориллонита в глине изменяется по глубине залегания от небольшого до преобладающего (80—90%) в верхних слоях (рыхлая разно-

Таблица IV.4

Технические требования к глинам Трошковского месторождения

Показатель	Сорт		
	Высший	I	II
Содержание, %:			
окиси железа, не более	0,9	1,2	2,0
двуокиси титана, не более	0,6	0,6	—
окиси железа и двуокиси титана, не более	1,3	1,6	2,5
окись алюминия, не менее	32	30	30
Содержание механических примесей, %, не более:			
остаток на сите № 2	2,5	4,5	9,0
» » » № 0056	4,5	4,5	—
Влажность, %, не более	15	15	15

видность). Изделия из фарфоровых масс с трошковской глиной отличаются повышенной белизной и просвечиваемостью.

Латненские глины представляют собой тонкодисперсный высокоогнеупорный глинистый материал, в котором содержание каолинита достигает 83%. Из-за высокого содержания красящих окислов, особенно двуокиси титана, в фарфоро-фаянсовой промышленности они применяются только для изготовления капселей и этажерочных плит вагонеток туннельных печей.

Бентонитовые глины образовались в результате расстекловывания и химического превращения стекловидной фазы вулканического пепла или туфа. По своим физическим свойствам они чрезвычайно неоднородны. Цвет бентонитов от белого до темно-коричневого. В природе встречаются натриевые и кальциевые бентониты. Основным глинообразующим минералом бентонитов является монтмориллонит. В качестве примесей присутствуют кварц, карбонаты, полевой шпат, лимонит, слюды, а в огланлинском бентоните, кроме того, и гипс. Бентониты характеризуются высокой дисперсностью, обусловливающей значительную пластичность и способность поглощать много воды. Ввод в массу до 4% бентонита позволяет заменить пластичные глины каолином, что повышает белизну фарфора.

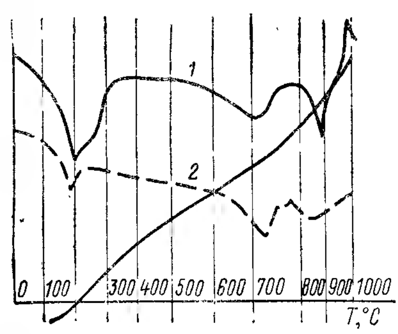


Рис. IV.2. Дифференциальные кривые термического анализа бентонитов:

1 — пыжевского; *2* — огланлинского

Для термограмм бентонитов характерными являются три эндотермических эффекта: первый — от 100 до 200 С, вызванный поглощением тепла при удалении адсорбционной воды; второй – от 600 до 700 С, связанный с удалением конституционной воды, и третий — от 800 до 900 С — результат разрушения решетки минерала и аморфизации вещества (рис. IV.2).

Таблица IV.5

Технические требования к бентонитам

Показатель	Сорт I	Сорт II
Содержание, %:		
красящих окислов, не более	1,75	2,25
серного ангидрида, не более	0,5	0,75
Бентонитовое число (набухаемость), не менее	80	75
Связующая способность образцов из смеси бентонита и песка в пропорции 1 : 3, МПа (кгс/см²), не менее	2 (20)	2 (20)
Влажность, %, не более	20	20

Таблица IV.6

Химический состав глинистых материалов, %

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Потери при прокаливании, %
Каолин:									
Просяновский	46—46,6	38,6—40,3	0,5—1,1	0,4—0,6	0,06—0,25	—	-	—	13,3—13,9
Алексеевский	46,4—48,2	36,7—38,8	0,4—0,84	0,5—0,6	0,5—0,8	0,15—0,5	0,5—1,4	0,1—0,12	11,6—12,8
Глуховецкий	46,1—47,8	31,2—39,3	0,3—1	0,3—1,1	0,1—0,5	Следы — 0,2	Следы — 0,1	Следы 0,03	13,2—13,7
Дубровский	46,5—49,5	35,8—36,5	0,6—1,2	0,15—0,2	0—0,9	0,6—0,86	1,6—1,8	0—0,6	10,3—13,3
Кыштымский	46,4—49,3	32—36	0,9—4,1	0,5—1	0—0,8	0—0,2	—	0—0,10	10,8—13,2
Глина:									
Веселовская	55,5—47,6	28—35,5	0,6—0,9	0,9—1,4	0,6—2	0,17—0,6	1,7—2,3	0,43—0,56	8,4—9,6
Трошковская (камнеподобная)	48—48,5	37,4—37	0,4—0,6	0,5—0,6	1,3—1,8	0,3—0,7	0—0,4	0,14—0,16	11,2
Трошковская (рыхлая)	51,79	34	0,6	0,45	1,57	0,9	0,65	0,44	9,85
Латненская	48,1—51,7	35,1—30,3	0,7—0,9	1,4—2	0,5—1,2	0,1—0,3	0,2—0,9	0,1—0,8	9,7—12,3
Бентонит:									
Огланлинский	64,7—73	17,2—11,8	0,8—1,8	Следы	0,5—4,6	2,6—3,4	0,16—0,8	1,1—2,7	4,3—6,1
Пыжевский	58,9—62,1	22,1—19,9	1,4—2,36	Следы — 0,2	2,7—4,7	4,9—6,2	0,1—0,33	0,9—1,3	4—6,2

Таблица IV.7

Состав и основные свойства каолинов

Показатель	Просяновский каолин		Глуховецкий каолин	Кыштымский каолин	Алексеевский каолин
	мокрого обогащения	сухого обогащения			
Гранулометрический состав, %:					
фракция больше 0,05 мм	0,58—4,72	7,44	0,3—0,8	0,56—4,05	5,55—16,47
» 0,05—0,01 мм	16,68—17,82	25,92	7—13,5	17,48—31,19	3,08—12,66
» 0,01—0,005 мм	11,07—12,52	11,31	14,2—18,9	10,38—15,60	4,03—14,73
» 0,005—0,001 мм	30,4—31,82	28,58	16,5—21,4	29,4—32,39	19,47—41,69
» меньше 0,001 мм	35,68—37,74	26,75	37,2—59,8	30,89—36,16	34,04—55,77
Относительное водозатворение, %	28—32	27—31	28—31	30—33	31—33
Пластичность по Аттербергу—Васильеву	7—8	5—7	2—4	5—8	6—7
Усадка при сушке, %	4	3	5—6	5,5—7	4—7
Предел прочности при изломе сухих образцов, МПа (кгс/см²)	1,5—2 (15—20)	1,2—1,6 (12—16)	0,3—0,4 (3—4)	3,5—6 (35—60)	1,2—1,6 (12—16)
Огнеупорность, °C	1770—1790	1780—1790	1730	1730—1760	1730

Таблица IV.8

Основные свойства глин

Показатель	Глина				
	веселовская	ново-райская	трошковская камнеподобная	трошковская рыхлая	латненская
Гранулометрический состав, %:					
фракция больше 0,05 мм	0—1,5	0—4,47	0—7,5	0—3,14	0—5,03
фракция 0,05—0,01 мм	0,39—1,95	0,62—3,4	5,45—17,18	2,47—5,16	1,96—6,34
фракция 0,01—0,005 мм	0,77—2,12	1,36—4,4	6,82—7,4	5,10—5,59	3,03—4,65
фракция 0,005—0,001 мм	4,22—16,29	4,52—31,94	11,3—18,9	9,57—13,08	19,79—22,22
фракция меньше 0,001 мм	79,54—92,62	62—83,75	54,91—69,01	79,68—68,84	65,81—70,87
Относительное водозатворение, %	29—33	28—31	30,9	36,7	28,5
Пластичность по Аттербергу—Васильеву	13—17	14—16	28,8	23,4	15,3
Усадка при сушке, %	7,2—8,9	7,9—8,9	12	15,9	7,4
Предел прочности при изломе сухих образцов, МПа (кгс/см²)	14,6—18,2 (146—182)	14—20,8 (140—208)	15,6—18,1 (156—181)	20,8—22 (208—220)	6—9 (60—90)
Огнеупорность, °C	Выше 1730	1710—1730	1750	1710	1730

Огланлинское месторождение бентонитов по качеству и мощности залегания (от 0,5 до 31 м) наиболее ценно для промышленности.

Заводы УССР используют бентонит Пыжевского месторождения. Этот бентонит имеет в поглощенном комплексе щелочноземельный катион и приобретает активность лишь после обработки фтористым, пирофосфорнокислым или щавелевокислым натрием.

По ГОСТ 7032—54 бентонит для тонкой керамики должен удовлетворять требованиям, приведенным в табл. IV.5.

Химические составы и некоторые физические характеристики глинистых материалов, по данным исследований ГИКИ и УНИИСП, даны в табл. IV.6, IV.7 и IV.8 [5, 6, 13, 14, 15].

3. ОБОГАЩЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Каолины первичных месторождений применяются только после обогащения. Исключение составляет дубровский каолин, который используют в необогащенном виде на некоторых фарфоровых заводах УССР. Обогащенные каолины содержат в основном каолинит, в то время как в неотмученном первичном каолине его не больше 45%.

Аппаратное обогащение каолинов производится в СССР двумя методами: мокрогравитационным (электролитным) и воздушногравитационным (сухим). Наибольшее распространение получил первый метод. Он применяется на Просяновском, Глуховецком и Кыштымском обогатительных комбинатах.

При мокрогравитационном методе измельченная порода распускается в воде с электролитами, затем в бассейнах происходит осаждение песка. После этого суспензия поступает в чаны, куда добавляют коагуляторы (известковое молоко, полиакриламид и др.). Обезвоживание производится в рамных фильтр-прессах. Отпрессованные коржи измельчают и после сушки упаковывают в мешки. В обогащенном каолине примеси песка колеблются в пределах 0,3—1,3% остатка на сите № 0056.

На Просяновском обогатительном комбинате применяется также и сухое обогащение сырья. Измельченные породы сушат при температуре 800—860° С в течение 40—45 мин до влажности 0,7—0,8%. Высушенный каолин подается в центрифугальную мельницу, откуда вентилятором прогоняется через сепараторы в циклоны, где осаждается и затем по течкам поступает на склад для упаковки.

Электролитный способ обогащения не обеспечивает получения высококачественного каолина для производства фарфора. Применение электролитов снижает качество каолинов, ухудшая формовочные свойства при избытке пептизатора и литейные — в случае избытка коагулянта.

Следует отметить, что процесс образования новых кристаллических фаз при обжиге каолина электролитного обогащения начинается раньше. Уже при температуре 1350° С в этом каолине обнаруживается муллит, в то время как в каолине сухого обогащения муллит не просматривается даже при более высоких температурах.

При сухом обогащении не удается уловить наиболее ценную часть каолина — мелкую фракцию, что значительно ухудшает его пластичность и связующую способность.

В последние годы за рубежом и на наших заводах начали широко применять гидроциклонный, безэлектролитный метод обогащения каолинов. Гидроциклоны устанавливают каскадами из нескольких батарей (рис. IV.3).

Отдельный гидроциклон представляет собой сосуд из двух частей: верхней — цилиндрической формы и нижней — конусообразной. Подача суспензии в гидроциклон производится под давлением 0,25—0,3 МПа (2,5—3 атм) по патрубку, установленному тангенциально к боковой поверхности цилиндрической части. Песок выгружают через насадку в нижней конической части. Вследствие тангенциальной подачи суспензии в гидроциклоне создаются вихревые движения, причем действующие центробежные силы значительно превышают силу тяжести. Центробежные силы и вихревые потоки позволяют классифицировать материал по плотности и крупности зерна. Преимущество гидроциклонов в простоте их конструкции, высокой производительности и отсутствии вращающихся частей. Электроэнергия затрачивается только на приведение в действие насосов, подающих суспензию в гидроциклоны.

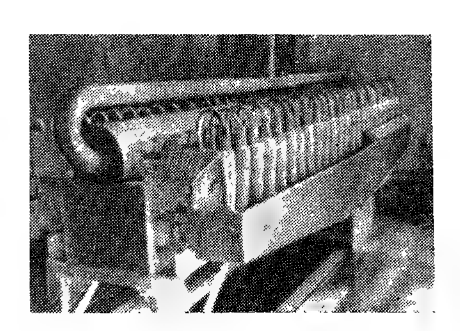


Рис. IV.3. Батарея фарфоровых гидроциклонов

На Седлецком заводе в ЧССР установлены три каскада гидроциклонов. В первом работают три гидроциклона диаметром 350 мм каждый, во втором — десять диаметром 150 мм и в третьем — 120 диаметром 50 мм. В первом и во втором каскадах установлены гидроциклоны, изготовленные из железа с резиновой футеровкой, в третьем — из фарфора.

Обогащение каолинов с помощью трех каскадов гидроциклонов производится также и в ГДР.

Гидроциклоны позволяют получать каолин с остатком на сите № 0056 в пределах 0,03—0,15%.

В США каолин обогащают в гидроциклонах с применением химических диспергаторов. В зависимости от требований потребителей обогащенный каолин разделяют по фракциям, что позволяет получать материал различных технологических свойств.

Цех гидроциклонного обогащения каолина сооружается и на Просяновском каолиновом комбинате. Недостатком гидроциклонного безэлектролитного обогащения является необходимость значитель-

ного разбавления водой каолиновой суспензии, что осложняет обезвоживание.

В УНИИСП разрабатывают метод обогащения каолина, основанный на физическом воздействии упругих колебаний на каолиновую суспензию. Как показали предварительные исследования, разрушение структурных связей глинистой суспензии под действием ультразвука способствует осаждению кварцевого песка из концентрированных суспензий каолина [16].

Для исключения процесса обезвоживания на обогатительных комбинатах представляют интерес исследовательские работы по применению электрофоретического обогащения каолинов. В 1951 г. на Глуховецком каолиновом комбинате была опробована опытно-промышленная установка на основе опытов, проведенных в Киевском политехническом институте Б. С. Лысиным и И. А. Булавиным. При плотности суспензии 1,198 –1,261 г/см^3, напряжении постоянного тока 100—110 В с 1 м^2 барабана в час снималось 150—180 кг каолина влажностью до 38%. Получаемый продукт отличался тонкодисперсностью.

В ФРГ и ЧССР электрофоретическое обогащение применяется для обогащения глин при производстве карандашей и тиглей.

Для производства фарфора высокой белизны важно получение каолинов с незначительным содержанием железистых и титанистых соединений. Однако в природе высококачественные каолины встречаются сравнительно редко. Поэтому в последние годы много внимания уделяют исследованиям в области химического обогащения каолинов.

В ЧССР разработан метод гидросульфитного отбеливания каолинов. Каолиновую суспензию после гидроциклонного обогащения обрабатывают химическими реагентами в реакторах в бескислородной среде и промывают водой. Последняя операция осуществляется неоднократным распусканием каолина в чистой воде и обезвоживанием в фильтр-прессах. По данным Института грубой керамики (Карловы Вары) этот метод принят промышленностью.

В США отбелка каолина производится с помощью гидросульфита в сернокислой среде натрия или цинка, причем узел химической отбелки включен в схему гидроциклонного обогащения.

Разработанный кафедрой органической химии Лесотехнической академии (г. Ленинград) метод обезжелезивания каолинов основан на применении растворимых смол, получаемых при переработке древесины. Процесс протекает в кислой среде. Растворенное железо удаляют фильтрацией и промывкой.

В схеме отбеливания, разработанной в УНИИСП, использован способ активации крепкой соляной кислотой. Обезжелезивание производится трехчасовой обработкой глинистой суспензии при температуре 100 С. При последующих промывках и фильтрациях (2—3 раза) сернокислое железо удаляется из каолина [16].

Недостаток описанных методов — необходимость неоднократной промывки каолина при распускании с последующим обезвоживанием в фильтр-прессах.

Температурная обработка и сильнокислотная среда требуют применения специального оборудования. Длительное пребывание каолина в кислых средах ухудшает его технологические свойства.

Выгодно отличается метод обезжелезивания каолинов, разработанный в ГИКИ. Он основан на применении гидросульфитного восстановления в сильно разбавленной серной кислоте совместно с ионированием адсорбцией растворенного железа. Адсорбентом служит полистирольная смола катионит КУ-2. Такая схема отбелки значительно ускоряет процесс обогащения. Простота аппаратуры, много-

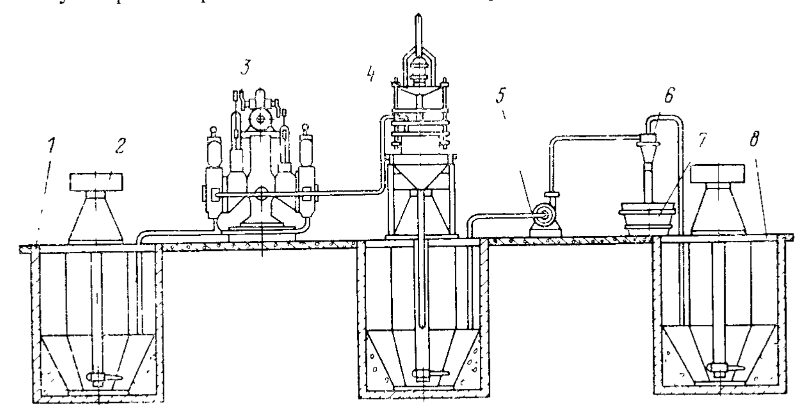


Рис. IV.4. Схема гидроциклонного обогащения глин и бентонитов в массозаготовительных цехах:

1 — сборник емкостью 1,8 м^3; *2* — пропеллерная мешалка; *3* — сдвоенный мембранный насос ОМ-938; *4* — подвесное инерционное сито; *5* — центробежный насос; *6* — гидроциклон ∅ 70 мм; *7* — бачок для отходов; *8* — мешалка-сборник для обогащенной суспензии

кратное использование ионитов, быстрое извлечение железа (что устраняет опасность гидролиза) и сравнительно низкие температуры (30—50° С) позволяют считать этот метод весьма перспективным [17].

Сырьевая база для фарфоровой промышленности могла быть значительно расширена, если бы удалось организовать промышленное обогащение глуховецкого каолина с удалением соединений титана. В ГИКИ разрабатывается метод удаления титансодержащих минералов с помощью мелких гидроциклонов (диаметром 15 и 10 мм). Установлено, что содержание двуокиси титана в глуховецком каолине уменьшается примерно на 40—50% при одновременном снижении окиси железа.

Внедрение в практику работы каолинодобывающей промышленности прогрессивных методов обогащения, несомненно, улучшит качество каолинового продукта.

Улучшению качества фарфоровых и фаянсовых изделий способствует и гидроциклонное обогащение глин и бентонитов, которое осуществляется на ряде заводов. Обогащенная бентонитовая или глинистая пульпа заливается в шаровые мельницы или мешалки. При этом количество воды в мешалках для роспуска каолина соответственно уменьшается.

В проектах новостроящихся заводов в массозаготовительных цехах предусматриваются специальные отделы гидроциклонного обогащения, проектируемые по схеме, предложенной ГИКИ (рис. IV.4).

4. ПЛАВНИ

Полевые шпаты представляют собой алюмосиликаты щелочей и щелочных земель. В керамике их используют в качестве флюсов и одновременно отощающих материалов. Полевые шпаты обладают высокой спайностью, что облегчает их дробление. Окраска полевых шпатов различна: красная, белая, серая, желтая и др. В табл. IV.9 приведены плотность полевых шпатов и их примерные химические составы.

Таблица IV.9

Плотность полевых шпатов и их химический состав

Наименование шпата	Плотность, г/см²	Молекулярная формула	Химический состав, %				
			SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO
Микроклин, ортоклаз	2,56—2,58	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	64,75	18,32	16,93	—	—
Альбит	2,62	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	68,73	19,44	—	11,83	—
Анортит	2,76	$CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	43	36,9	—	—	20,1

Пользуясь данными плотности, можно определить природу шпата.

В природе чистые полевые шпаты встречаются редко. Чаще они образуют твердые растворы, взаимодействуя друг с другом. Калиевый полевой шпат с прорастаниями альбита и анортита образует группу плагиоклазов. Изоморфное замещение ионов калия ионами натрия и кальция понижает температуру плавления шпатов и вязкость расплава. Исследованиями Д. И. Левина и Л. Н. Никулиной [18], проведенными в ГИКИ с помощью нагревательного микроскопа, установлено, что интервалы спекания и главных реакций колеблются в широких пределах (табл. IV.10).

Рассматриваемые типичные образцы микроклин (образец 2), плагиоклаз с высоким содержанием альбита (образец 5) и серецитизированный и карбонатизированный плагиоклаз (образец 8) имеют соответственно интервалы спекания 220, 140 и 180° С. Образование капли для микроклина происходит при температуре выше 1460° С, и в отличие от плагиоклаза она не растекается по подложке. Образование капли для полевого шпата образца 8 наблюдалось уже при 1350° С. Расширение при плавлении составляло для микроклина — 1,2%, плагиоклаза — 6%. Эти особенности поведения различных полевых шпатов при высоких температурах придают фарфоровым массам с микроклином меньшую чувствительность к перепаду температур при обжиге.

Из-за дефицитности некоторых чистых разновидностей полевого шпата часто приходится применять заменители. Особое место среди

Таблица IV.10

Составы и свойства полевых шпатов

Показатель	Микроклин (образец 2)	Плагиоклаз (образец 5)	Плагиоклаз, серецитизированный и карбонатизированный (образец 8)
Минералогический состав, %:			
микроклин	80	3	Меньше 1
альбит	16	76	64
анортит	3	16	13
серецит	—	2	20
карбонат	—	0,5	2
кварц	Меньше 1	3	0
Температура, °С:			
начало спекания	1140	1140	1100
конец »	1300	1260	1240
начало плавления	1360	1280	1280
образование капли	Выше 1460	Не определяли	1330
Интервалы реакций, °С:			
спекания	220	140	180
главных реакций	60	20	40
Расширение образца при плавлении, %	1,2	2	6

заменителей принадлежит пегматитам, представляющим собой полевошпатовые породы, проросшие кварцем. Содержание кварца в пегматитах колеблется от 20 до 35%. Кварц является одной из составных частей тонкокерамических масс, поэтому фарфоро-фаянсовая промышленность широко применяет пегматиты.

Основные месторождения, обеспечивающие до 80% всей потребности фарфоро-фаянсовой промышленности в полевошпатовом сырье, находятся в Карельской АССР и Мурманской области.

Фарфоровые предприятия УССР снабжаются пегматитами маломощных, но хорошо изученных месторождений (Елисеевское, Андреевское и Мариупольское). Имеются месторождения полевошпатового сырья на Урале (Вишневогорское, Алапаевское), однако качество их не удовлетворяет требованиям промышленности. Мало еще разведаны месторождения Сибири. Исключение составляет Нарын-Кунтинское месторождение полевого шпата высокого качества. Оно используется главным образом Хайтинским фарфоровым заводом.

Полевошпатовые месторождения Средней Азии, Дальнего Востока и Приморского края почти не разведаны.

В табл. IV.11 приведены химические составы полевошпатового сырья основных месторождений [19, 20].

К числу перспективных заменителей калиевого полевого шпата можно отнести плагиоклазы с низким содержанием окисла кальция. К. И. Келер, В. Т. Попова [21] и В. Д. Срадников [22] в результате исследований, проведенных в ГИКИ, доказали возможность применения смешанных микроклинплагиоклазовых полевых шпатов в про-

Таблица IV.11

Химический состав полевошпатового сырья, %

Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Потери при прокаливании, %
Чупинское-Чкаловское, Карельская АССР (микроклин)	67,17	14,17	0,11	0,19	Следы	12,95	1,67	0,28
Хето-Ламбина (плагиоклаз), Карельская АССР	64,78	22,00	0,07	3,25	0,16	0,87	8,99	0,28
Хето-Ламбина (микроклин, пегматит), Карельская АССР	70,73	16,27	0,18	0,16	0,47	9,70	2,12	0,19
Луппико (микроклинплагиоклазовый пегматит), Карельская АССР	74,62	14,44	0,55	1,21	0,17	4,00	4,40	0,72
Енское-Рекалатва (микроклинплагиоклазовый пегматит), Мурманская обл.	73,22	15,62	0,56	2,37	0,36	3,4	4,00	0,30
Андреевское (микроклиновый пегматит), УССР	69,76	17,09	0,07	0,56	0,57	9,38	3,21	0,14
Елисеевское (микроклин), УССР, Мариупольский район	66,63	18,98	0,18	0,52	0,34	10,98	1,92	0,36
Елисеевское (микроклинплагиоклазовый пегматит), УССР	73,68	14,9	0,34	2,56	0,18	3,98	2,44	1,18
Вишневая Гора (плагиоклазмикроклиновый пегматит), Урал	74,52	14,064	0,64	2,52	0,32	6,38	3,68	0,44
Завитинское (микроклин)	66,18	21,89	0,21	0,80	0,30	9,18	2,00	0,24
Завитинское (микроклинплагиоклазовый пегматит)	75,66	14,47	0,54	0,50	0,36	4,96	3,0	0,58
Нарын-кунтинское (микроклин), Иркутская обл.	65,27	19,80	0,05	0,32	0,05	14,92	Следы	0,16

изводстве фарфоровой посуды при температуре обжига 1320—1380° С. Массы с плагиоклазом характеризуются пониженной температурой спекания и менее вязким расплавом и требуют точного ведения обжига, специальных приемов загрузки вагонеток и устройств, обеспечивающих равномерный нагрев садки на вагонетках.

Исследование месторождений и изучение проблемы обогащения полевошпатовых материалов показали, что запасы высококачественного сырья ограничены. Большинство месторождений характеризуется неоднородностью минерального состава, загрязняющими примесями (биотит, турмалин, гранит, пирит и др.). Резко изменяется и толщина залегания сырья: мощные пласты переходят в тонкие прожилки. Неудовлетворительно организована добыча сырья. Все это приводит к быстрой выработке месторождений. Качество пегматита при ручной сортировке на карьерах низкое, в отвалы идет до 60% ма-

Таблица IV.12

Технические требования к полевошпатовым материалам

Показатель	Полевой шпат и пегматит					
	кусковой			молотый		
	Ш1К	П1К	ШВМ	Ш1М	ПВМ	ПТМ
Содержание окиси железа, %, не более	0,2	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2
Содержание суммы окислов кальция и магния, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Содержание суммы окислов щелочных металлов, %, не менее	12	8	13	12	8	8
Весовое соотношение окислов щелочных металлов $K_2O : Na_2O$, не менее	3	3	4	3	4	3
Содержание кварца (свободного SiO_2), %, не более	8	30	8	8	30	30
Размер кусков, мм	20—200	20—200	—	—	—	—
Содержание влаги, %, не более	—	—	1	1	1	1
Тонина помола (остаток на сите № 0056), %, не более	—	—	2	2	2	2

териала. Значительны также потери при дополнительной сортировке на заводах.

В табл. IV.12 приведены технические требования к полевошпатовым материалам для производства художественного и хозяйственного фарфора и фаянса. Удовлетворение потребности промышленности в высококачественном полевошпатовом сырье возможно только при обязательном обогащении добываемого пегматита на специальных помольно-обогатительных предприятиях.

К числу заменителей полевого шпата относятся также перлиты.

П е р л и т — вулканическая горная порода, основную массу которой составляет стекло (90—95% и более).

В табл. IV.13 приведены химические составы некоторых перлитов.

Температура плавления арагацкого перлита 1250° С. Плотность 2,3—2,4.

Таблица IV.13

Химический состав перлитов, %

Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Потери при прокаливании
Арагацкое (Армения)	72,52—74,31	13,42—13,64	—	0,56—0,78	0,77—1,02	0,16—0,51	2,57—3,78	3,8—5,0	2,94—4,15
Закарпатское (УССР)	74,39	13,49	Следы	1,59	1,30	—	2,50	2,50	3,57

Арагацкий перлит применяют для изготовления полуфарфоровых и фаянсовых сантехнических изделий. Опробование арагацкого перлита на Дулевском фарфоровом заводе показало, что его можно использовать в качестве плавня для изготовления цветного фарфора. Технологический процесс производства при этом не изменяется [23, 24, 25].

Закарпатский перлит можно использовать в фаянсовых плиточных массах [26].

Нефелиновые сиениты могут быть полноценными заменителями полевого шпата при условии тщательного обогащения. Обогащенный нефелиновый сиенит широко применяется в керамических производствах США и Канады.

В СССР нефелинполевошпатовый концентрат выпускает Вишневогорское рудоуправление. Концентрат содержит мало красящих окислов (0,3—0,25%), однако соотношение щелочей $K_2O : Na_2O = 0{,}7 : 1$ делает его непригодным для производства фарфора. Материал можно использовать для производства фаянсовых плиток.

Организация более совершенного технологического процесса обогащения позволит обеспечить фарфоровые заводы Урала высококачественным сырьем.

5. КВАРЦЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В фарфоро-фаянсовой промышленности в качестве отощающих материалов применяют кварц жильный, кварцевые пески, кварцевые отходы (при обогащении каолинов), кварц из пегматитов и вторичные кварциты.

Кремнезем, образующий кварцевые породы, отличается сложным полиморфизмом. Имеется несколько кристаллических модификаций кремнезема, с полиморфными превращениями которых связаны изменения объема кварца, что необходимо учитывать при ведении технологического процесса изготовления изделий.

Обратимые изменения объема при полных превращениях кремнезема можно схематично изобразить следующим образом:

Быстрые превращения

β-кварц $\xrightarrow{573^\circ C}$ α-кварц (+0,82%)

β-кристобалит $\xrightarrow{180-270^\circ C}$ α-кристобалит (−2,8%)

γ-тридимит $\xrightarrow{117^\circ C}$ β-тридимит (+0,2%)

Медленные превращения

α-кварц $\xrightarrow{1200^\circ C}$ α-тридимит (+16%)

α-кварц $\xrightarrow{1000^\circ C}$ α-кристобалит (−15%)

α-кварц $\xrightarrow{1600^\circ C}$ кремнеземистое стекло (+15,4%)

кремнеземистое стекло $\xrightarrow{1200-1400^\circ C}$ α-кристобалит (+0,9%)

Наиболее опасными для фарфоровых и фаянсовых масс являются скачкообразные изменения объема кварца при температуре 500—600° С. Тепловое расширение кварца используют на заводах для

облегчения помола. После обжига до 900° С с последующим резким охлаждением куски кварца разрыхляются и легко измельчаются.

Кварц принадлежит к числу наиболее распространенных в природе минералов. Он встречается в виде жил, кварцевых песков, кварцитов, кремния, горного хрусталя, маршалита (пылевидного кварца), а также в виде примесей в глинах и в отложных каолинах.

Жильный кварц в чистом виде встречается сравнительно редко и используется преимущественно в составе глазурей. Наиболее высокосортными считаются мурманский и нарын-кунтинский кварц. Месторождения жильного кварца на Украине (Запорожье, Волынь) имеют местное значение. Запасы чистых кварцевых песков также невелики. В основном они идут для нужд стекольной промышленности, но пригодны и для изготовления фарфоровых изделий. Широко известными

Таблица IV.14

Химический состав кварцевых материалов, %

Кварцевый материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2
Мурманский кварц	98,49—99,83	0,84—0,88	0,02—0,19	—
Люберецкий песок	99,10—99,5	0,16—0,50	0,02—0,3	Следы 0,06
Часов-ярский песок	99,37—99,75	0,10—0,48	0,005—0,03	Следы
Будский песок	99,62	0,09	0,06	0,11
Просяновские отходы, не промытые	87,84	7,65	0,08	0,06
То же, промытые	91,08	5,82	0,07	0,08
Глуховецкие отходы мокрого обогащения, не промытые	92,52	4,60	0,04	0,09
То же, промытые	96,46	1,42	0,05	0,06
То же, сухого обогащения, не промытые	84,12	9,23	0,15	0,42
То же, сухого обогащения, промытые	96,00	1,91	0,09	0,07

Кварцевый материал	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Потери при прокаливании
Мурманский кварц	—	Следы 0,09	—	—	0,19
Люберецкий песок	0,03—0,5	Следы 0,30	—	—	0,05—0,2
Часов-ярский песок	0,01—0,25	Следы	—	—	0,13
Будский песок	Следы	—	—	—	0,18
Просяновские отходы, не промытые	0,43	0,07	2.84	0,06	1,19
То же, промытые	0,60	0,14	1,96	—	0,21
Глуховецкие отходы мокрого обогащения, не промытые	1,08	0,12	0,01	—	1,5
То же, промытые	1,20	0,07	0,01	—	0,84
То же, сухого обогащения, не промытые	1,36	Следы	0,48	0,48	4,07
То же, сухого обогащения, промытые	0,65	0,06	0,20	0,68	0,47

являются высококачественные люберецкие (Подмосковье) и часовярские (УССР) пески. Основным сырьем фарфоро-фаянсовой промышленности в настоящее время являются кварцевые отходы Просяновского и Глуховецкого каолиновых комбинатов. Часть кварца вводится в фарфоровые массы с пегматитом.

Запасы кварцевых отходов велики и могут полностью обеспечить потребность промышленности. Просяновский песок более однороден по гранулометрическому составу (максимальный размер зерен 8—10 мм). Основная примесь в нем — зерна белого полевого шпата (до 14%). После обжига при температуре 1300—1320° С песок белого цвета, при этом часть зерен (полевой шпат) полностью оплавляется.

Глуховецкий песок, используемый преимущественно в фаянсовых массах, после обжига окрашивается в желтый цвет вследствие значительных примесей рутила. Встречаются также гранат и известняк. Зерновой состав песка весьма неоднороден, имеются зерна размером до 30—40 мм. Кварцевые отходы отличаются от лучших сортов кварцевых песков пониженным содержанием кремнезема за счет присутствия каолина (в отходах мокрого обогащения до 10%, сухого — 30%). Химический состав кварцевых материалов приведен в табл. IV.14.

Технические требования к кварцевым пескам (отходы при обогащении каолинов) приведены в табл. IV.15.

Таблица IV.15

Технические требования к кварцевым пескам

Показатель	Сорт	
	I	II
Содержание, %:		
SiO_2, не менее	95	93
$Fe_2O_3 + TiO_2$, не более	0,2	0,3
CaO, не более	1	2
Потери при прокаливании, не более	1	2
Содержание каолина, не более	1	2
Остаток на сите № 4, не более	2	5
Влажность, %, не более	5	5

Кварцевые пески не должны иметь засоряющие примеси, видимые невооруженным глазом, за исключением примесей полевого шпата, количество которого учитывают при расчете масс.

6. КАОЛИНИЗИРОВАННЫЕ ВТОРИЧНЫЕ КВАРЦИТЫ

С середины 60-х годов в фарфоровой промышленности стали применять каолинизированные вторичные кварциты, образовавшиеся в результате гидротермального изменения кислой эффузивной горной породы типа дацитового порфира. Эта порода

широко известна работникам промышленности под названием «гусевский камень».

Фарфоровые изделия, изготовленные из масс с гусевским камнем, обладают высокой белизной (67—74%) и просвечиваемостью.

Для производства хозяйственного фарфора используют две разновидности гусевского камня:

1) бесщелочной ($K_2O + Na_2O$, не более 0,5%) — темно-серого цвета, представляющий собой каолинизированный вторичный кварцит, состоящий в основном из кварца (56%) и каолинита (40%); после обжига — снежно-белого цвета;

2) нормальной щелочности ($K_2O + Na_2O$ до 2,5%) — каолинизированный вторичный кварцит белого, серого и темно-серого цветов, в составе которого кварца 50—55%, каолинита 20—30% и гидрослюды (типа гидромусковита) 14—22%.

Месторождение гусевского камня находится в Приморском крае (Надеждинский район) в 120 км от Владивостока. Оно достаточно разведано и исследовано. На базе гусевского камня построены и работают Артемовский фарфоровый завод (Приморский край) и завод в г. Владивостоке [1, 27].

Из заводов европейской части СССР гусевский камень (крупнокусковую белую разновидность) применяют на Ленинградском заводе имени М. В. Ломоносова для производства подарочных изделий.

Технические требования к гусевскому камню по РТУ РСФСР 822—67 даны в табл. IV. 16.

Таблица IV.16

Технические требования к гусевскому камню

Показатель	Сорт		
	Высший	I	II
$K_2O + Na_2O$, %, не более	0,5	2,5	2,5
$Fe_2O_3 + TiO_2$, %, не более	0,6	0,6	1,0
SiO_2, %, не более	78	78	78
Влажность, %, не более	6	6	6

7. ОБОГАЩЕНИЕ КАМЕНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

На Чупинской помольно-обогатительной фабрике (п. Чупа, Лоухского района Карельской АССР) производится обогащение пегматита.

Породу на карьере разбирают и сортируют вручную, затем на фабрике ее дробят, измельчают и подвергают сухой магнитной сепарации. Напряженность магнитного поля 22 000 Э.

Начатая реконструкция фабрики предусматривает усовершенствование технологического процесса обогащения. Впредь до ее осуществления молотый материал поставляется заводам в соответствии с дополнениями к ГОСТ 7030—67, приведенными в табл. IV.17.

Таблица IV.17

Дополнения к ГОСТ 7030—67 на полевые шпаты и пегматиты для тонкой керамики

Показатель	Нормы для молотого пегматита марок		Методы испытания
	П1800	П2800	
Потери при прокаливании, %, не более	0,5	0,5	ГОСТ 11585—65
Тонина помола на сите по ОСТ, %, не более:			
№ 1,25	2,5	2,5	По приводимой методике
№—08	15	15	
Содержание пылеватых частиц (прошло через сито № 0071), %, не более	15	15	То же
Содержание слюды (по количеству чешуек на 100 зерен пегматита), %, во фракции:			
0,8—0,63, не более	2	2	»
0,63—0,5, » »	2	2	»

Не допускается отклонение внутри партии в содержании кварца более чем ±1,5%.

В массозаготовительных цехах заводов обогащение кварца, доломита и других каменистых материалов производится с помощью электромагнитных шкивов (барабанов) с ленточными транспортерами (ГОСТ 13602—68) или электромагнитными сепараторами, напряженностью магнитного поля 16 000 Э.

Обогащению сырья придается большое значение, особенно в нашей стране, ввиду бурного роста выпуска фарфора и фаянса [28]. Предусматривается организация производства мономинерального тонкомолотого материала на Ёнской помольно-обогатительной фабрике, на базе месторождения Кууру-Вара (Мурманская обл.), а также на Лянгарской фабрике (Средняя Азия).

В перспективе намечена разработка комплексного использования сырья для централизованного снабжения заводов массами и глазурями, которые будут приготовляться на кустовых предприятиях. Это позволит унифицировать составы масс и глазурей, сократит массозаготовительные цехи заводов, даст большую экономию. Разработано технико-экономическое обоснование строительства Дубровской обогатительной фабрики мощностью 50 тыс. т в год.

Исследованиями, проведенными в УНИИСП, доказана возможность использования сырья Дубровского месторождения для централизованного снабжения фарфоровых заводов УССР.

8. ДОЛОМИТ

Доломит — двойная углекислая соль (54% $CaCO_3$ и 46% $MgCO_3$) встречается в виде крупнокристаллических, среднезернистых и тонкозернистых образований, в основном светло-серых тонов, иногда с желтоватыми оттенками.

Доломит применяют в производстве фарфора и фаянса для глазурей. Некоторые заводы (например, Первомайский) вводят доломит также в состав фарфоровой массы в количестве 0,5—1%.

В СССР известно много месторождений доломитов. В табл. IV.18 приведены химические составы доломитов, наиболее пригодных для фарфоро-фаянсовой промышленности.

Таблица IV.18

Химический состав доломитов, %

Месторождение	Нерастворимый остаток	Fe_2O_3	Al_2O_3
Орджоникидзевское; Боснийское (Северо-Осетинская АССР)	0,73—0,43	0,09—0,08	0,3—0,15
Ковровское; Мелихово-Федотовское (Владимирская обл.)	0,96—1,82	0,1—0,08	0,37—0,7
Узкологское (Иркутская обл.)	2,30	0,14	0,30
Гузарское (Узбекская ССР)	2,66	0,15	0,22
Саткинское (Челябинская обл.)	3,46	0,17	0,48

Месторождение	CaO	MgO	Потери при прокаливании
Орджоникидзевское; Боснийское (Северо-Осетинская АССР)	32,96—34,13	18,92—18,39	46,81—47,05
Ковровское; Мелихово-Федотовское (Владимирская обл.)	32,96—35,82	16—18,82	46,31—46,34
Узкологское (Иркутская обл.)	32,44	18,80	46,44
Гузарское (Узбекская ССР)	32,63	18,88	45,79
Саткинское (Челябинская обл.)	30,15	19,98	45,42

Химический состав доломита ТУ 21-01—503—71 Мелихово-Федотовского месторождения в пересчете на сухое вещество, %:

CaO	32,5
MgO не менее	19,5
Al_2O_3 не более	0,5
Fe_2O_3 не более	0,1
SiO_2 не более	3,0

Влажность кусков не более 9%.

Фракция размером менее 20 мм не должна превышать 5%.

По специальному соглашению с потребителем допускаются куски размером от 50 до 350 мм.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Юрчак И. Я., Штейнберг Ю. Г., Пыжова А. П.** Сырьевые материалы для производства фарфоро-фаянсовых изделий. М., ЦНИИТЭСтром, Техническая информация «Керамическая промышленность», вып. 2, 1969, с. 15—20.

2. **Филинцев Г. П., Ледник В. Н.** Исследование глуховецких и просяновских кварцевых отходов. Труды ГИКИ, вып. 24, 1951, с. 37—44.
3. **Филинцев Г. П.** Сравнительная характеристика некоторых бетонитов СССР. Труды ГИКИ, вып. 1, 1953, с. 20—47.
4. **Пулиезо С. Г.** Технология фарфоро-фаянсового производства. М., Гизместпром, 1940, 528 с.
5. **Лекарева Т. С.** Исследование глин Веселовского и Ново-Райского карьеров Дружковского месторождения. Труды ГИКИ, вып. 1 (47), 1966, с. 3—42.
6. **Глассон В. В., Тараева Т. И.** Исследование трошковской глины. Труды ГИКИ, вып. 3 (44), 1961, с. 31—46.
7. **Глассон В. В., Тараева Т. И.** Исследование двух разновидностей трошковской глины. Труды ГИКИ, вып. 2, 1958, с. 57—71.
8. **Будников П. П. и др.** Технология керамических изделий. М., изд-во строительной литературы, 1946. 524 с.
9. **Будников П. П. и др.** Технология керамики и огнеупоров. М., изд-во строительной литературы, 1950. 575 с.
10. **Клюшников М. Н.** Каолины и глины УССР.— В сб.: «Распространение огнеупорных глин на территории УССР». М., ГИЗ геологической литературы, 1940, с. 195—241.
11. **Потапенко С. В.** Каолины и глины УССР. Физико-химическое изучение каолинов и глин. М., ГИЗ геологической литературы, 1940. 194 с.
12. **Лысин Б. С., Галабутская Е. А.** Материалы к изучению каолинов Украины. Киев, 1929. 406 с.
13. **Никулина Л. Н., Тараева Т. И.** Об одной разновидности глуховецкого каолина. Труды ГИКИ, вып. 1, 1960, с. 38—45.
14. **Голубева Н. В.** Некоторые свойства каолина Кыштымского месторождения. Труды ГИКИ, вып. 1, 1959, с. 11—22.
15. **Августиник А. И.** Керамика. М., Промстройиздат, 1957. 488 с.
16. **Комоцкий С. К. и др.** Обогащение каолинов. Киев, изд. НИИТЭИЛегпром УССР, 1966. 46 с.
17. **Августиник А. И., Коробкина В. В.** Химическое обогащение каолинов и способы улучшения процесса их обезжелезивания. Труды ГИКИ, вып. 1 (48), 1968, с. 3—9.
18. **Левин Д. И., Никулина Л. Н.** О некоторых полевых шпатах, применяемых в фарфоровой промышленности. Труды ГИКИ, вып. 1 (47), 1966, с. 43—55.
19. **Филинцев Г. П., Тараева Т. И.** Обогащение пегматита месторождения Луппико. Труды ГИКИ, вып. 3 (44), 1961, с. 3—13.
20. **Хизанишвили И. Г., Мамаладзе Р. А.** Использование перлита в массах для хозяйственного фарфора.— «Стекло и керамика», № 11, 1966, с. 37—38.
21. **Келер К. И., Попова В. Т.** О применении плагиоклазов в керамической промышленности. Труды ГИКИ, вып. 39, 1933, с. 3—32.
22. **Стадников В. Д.** Влияние состава полевошпатовых материалов на технологию и свойства фарфора. Труды ГИКИ, вып. 1, 1958, с. 15—32.
23. **Хизанишвили И. Г., Гаприндашвили Г. Г.** Перлит в полуфарфоровых и фарфоровых массах.— «Стекло и керамика», № 8, 1966, с. 28—30.
24. **Холодок Н. И.** Развитие сырьевой базы фарфоро-фаянсовой промышленности СССР. Труды ГИКИ, вып. 2 (49), 1968, с. 11—23.
25. **Юрчак И. Я.** Качество глинистых сырьевых материалов и белизна фарфоровых изделий. Труды ГИКИ, вып. 1 (46), 1964, с. 3—13.
26. **Галабутская Е. А., Чебанова С. Н.** Перлиты и липариты Закарпатского месторождения — ценное сырье для производства облицовочных плиток. М., ЦНИИТЭСТром, Техническая информация «Керамическая промышленность», вып. 2, 1969, с. 20—21.
27. **Лекарева Т. С., Дмитриева Л. М., Холодок Н. И.** Изучение вторичных кварцитов Гусевского месторождения для получения высококачественного фарфора и технические условия на них. Труды ГИКИ, вып. 1 (48), 1968, с. 33—51.
28. **Филинцев Г. П., Тараева Т. И.** Обзор пегматитовых месторождений и проблема обогащения полевошпатового сырья. Труды ГИКИ, вып. 1 (46), 1964, с. 14—35.

ГЛАВА V

ТОНКОКЕРАМИЧЕСКИЕ МАССЫ И ГЛАЗУРИ

1. МАССЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОЙ КЕРАМИКИ

Состав типичных керамических масс для изделий бытового назначения по основным минеральным компонентам приведен в табл. V.1. Температуры указаны по пироскопам.

Таблица V.1

Состав и температура обжига типичных масс для хозяйственного фарфора и фаянса

Назначение массы	Содержание, %				Температура обжига по пироскопам (ПК)	
	глинистого вещества	кварца	полевого шпата	мела	первому	второму
Хозяйственный фарфор	43—46	12—35	18—30		90—101	138
Химический фарфор	60—68	10—15	17—30		90—104	141
Электротехнический фарфор	40—50	22—40	20—28		—	132
Мягкий полевошпатовый фарфор	25—35	10—45	30—55		90—101	120
Мягкий костяной фарфор *	20—40	—	20—50		85	125
Тонкий каменный товар	40—50	30—45	5—30	0,5—2	90—104	112
Полуфарфор	40—60	35—50	8—15		90—104	120
Низкотемпературный фарфор	43—44	33—34	20		120	—
Полевошпатовый фаянс	40—60	30—50	3—8		123—130	—
Известковый полевошпатовый фаянс	40—55	40—48	1—3	5—8	112—120	104
Майолика	35—40	30—40	—	20—35	90—100	90

* В состав мягкого костяного фарфора вводится 25—35% костяной золы, а в состав низкотемпературного фарфора — 2% талька.

2. РАЗРАБОТКА СОСТАВА МАСС ХОЗЯЙСТВЕННОГО ФАРФОРА

Для разработки состава масс и сравнения свойств получаемых изделий целесообразно иметь один эталон, который изготовлен из хорошо изученного сырья и обладает необходимыми свойствами.

Для изучения поведения в фарфоровой массе сырья разных месторождений производят замену сырья: одного полевого шпата или каолина другим, беложгущуюся глину бентонитом, учитывая, что связующая способность бентонита в 2—2,5 раза выше глины и т. д. Для предупреждения деформации массы при обжиге (что может произойти при использовании полевого шпата с высоким содержанием

Таблица V.2

Химический состав сырья, используемого в производстве фарфора и фаянса, %

Материал	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Потери при прокаливании	$\frac{K_2O}{Na_2O}$
Каолин просяновский	47,16	0,56	36,33	0,72	0,11	0,56	0,56	0,16	12,84	3,16
» алексеевский гидроциклонный	47,50	0,57	37,41	0,35	0,48	0,30	1,08	0,08	12,23	11,3
Каолин алексеевский сырец	69,98	0,40	21,80	0,25	0,42	0,30	0,71	0,06	7,09	11,8
Кварцевые отходы глуховецкого каолина	96,23	0,08	1,59	0,21	0,39	0,33	0,42	0,08	0,67	5,25
Кварцевые отходы алексеевского каолина	97,05	0,11	0,83	0,15	0,26	0,33	0,17	0,11	0,54	1,55
Полевой шпат Ч	64,73	—	18,47	0,10	0,67	0,15	12,96	2,59	0,33	5,01
» » Т	67,23	Следы	18,42	0,19	0,45	0,21	10,18	3,11	0,21	3,28
» » Б	66,70	»	18,67	0,12	0,44	0,28	10,14	3,16	0,49	3,25
Бентонит огланлинский	73,37	0,19	13,87	1,14	2,64	2,81	0,33	1,36	4,24	0,24
Глина веселовская	51,66	1,43	33,37	0,86	0,73	0,90	1,47	0,40	9,18	3,68
Глина трошковская	49,94	0,44	34,83	0,69	1,15	0,60	0,31	0,13	11,91	2,49
Глинозем необожженный	—	—	97,53	0,04	0,93	0,28	0,10	0,47	0,65	—
Альгаматолит акташский	64,8	0,27	31,39	0,14	0,50	0,20	0,08	0,12	2,50	—
Тальк алгуйский	66,40	Следы	0,48	0,05	0,58	27,91	0,04	0,08	4,46	—
Бой утельный	69,83	0,67	24,30	0,43	0,79	0,44	2,06	0,89	0,59	—
» политой	71,08	0,42	22,62	0,47	0,90	0,54	2,68	0,85	0,44	—

окиси натрия) вводят 1—4% глинозема и одновременно снижают количество боя, чтобы не слишком отощить массу и не повысить температуру обжига.

При использовании каолина-сырца (если он достаточно однороден в месторождении) вместе с ним вводят кварцевую составляющую, уменьшая соответственно содержание кварца или кварцевого песка по рецепту.

Опыт зарубежных заводов показал целесообразность приготовления керамической массы путем одновременного использования нескольких каолинов, глин и полевых шпатов. Общее количество каолина или глины в составе массы не меняется, но доля влияния каждого ингредиента (из взятых двух-трех) соответственно ослабляется. Поэтому отклонения в минералогическом и химическом составах сырья не будут влиять столь значительно при многокомпонентном составе.

Химический состав используемого сырья приведен в табл. V.2.

Сравним состав и свойства нескольких фарфоровых масс, предназначенных для обжига при температуре 1380° С и рассчитанных по компенсационному методу замены сырья. В табл. V.3 приведены составы масс по данным А. А. Пыжовой и М. Н. Хотеевой (ГИКИ, 1969 г.).

Химический состав многокомпонентных масс, пересчитанных по составу сырья (см. табл. V.2), указан в табл. V.4.

Таблица V.3

Шихтовый состав фарфоровых и фаянсовых масс (разработанный на основе табл. V.1 и V.2), %

Материал	Состав массы						
	1 *	2	3	4	5	6	7
Каолин просяновский	42	—	—	—	—	—	—
Каолин алексеевский обогащенный	—	42	42	41	Сырец 65	33,8	6
Кварцевые отходы глуховецкого каолина	28	—	—	—	—	—	—
Кварцевые отходы алексеевского каолина	—	28	28	28	—	—	30
Полевой шпат Ч	18	—	—	18	—	—	—
» » Т	—	18	—	—	22,4	[illegible],4	16
» » Б	—	—	18	—	—	—	—
Агальматолит	—	—	—	—	—	—	38
Бентонит из Оглаглы	4	4	4	3	2	4	4
Глина веселовская	—	—	—	—	—	5	—
» трошковская	—	—	—	—	—	4	—
Глинозем необожженный	—	—	—	—	4	3	—
Бой утельный	3	3	3	—	—	—	—
» политой	5	5	5	3	2,5	—	6

* Масса 1 в данной серии принята за эталонную.

Таблица V.4

Химический состав многокомпонентных масс, %

Состав массы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	$\sum R_2O$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\sum RO$	$Fe_2O_3+TiO_2$
1	71,15	0,33	22,78	0,49	0,92	0,54	3,07	0,72	3,79	3,12	1,46	0,82
2	71,24	0,34	23,34	0,33	0,57	0,43	2,90	0,85	3,75	3,05	1,0	0,67
3	71,52	0,34	22,90	0,30	0,55	0,94	2,66	0,79	3,45	3,12	1,49	0,64
4	70,78	0,40	23,64	0,31	0,58	0,43	3,19	0,67	3,86	2,92	1,01	0,71
5	68,13	0,38	25,96	0,30	0,55	0,39	3,32	0,97	4,29	2,62	0,94	0,68
6	69,71	0,32	24,77	0,28	0,46	0,35	3,20	0,91	4,11	2,82	0,81	0,60
7	76,24	0,19	19,71	0,24	0,54	0,38	1,99	0,71	2,7	3,87	0,92	0,43

Среди этих масс наименьшее количество красящих окислов (Fe_2O_3 и TiO_2 — 0,43%) содержится в массе 7. Поэтому ожидалась высокая белизна фарфора из этой массы, что и подтвердилось; белизна достигла 83,4%. Вместе с тем в этой массе наименьшее количество щелочей и наибольшее количество кремнезема, поэтому можно было ожидать недостаточной степени спекания фарфора, что также подтвердилось: было определено значительное водопоглощение (0,12%) и относительно невысокая прочность: $\sigma_{изг}$ = 86,3 МПа (880 кгс/см²). Поэтому при сохранении требуемой температуры обжига 1380° С состав массы 7 не может быть рекомендован. Альгаматолит в составе массы в данном случае непригоден.

Рассмотрим другие свойства.

Общая усадка и водопоглощение приведены в табл. V.5.

Прочность всех масс при изгибе приведена в табл. V.6. Она выше эталонной на 4,9—19,6 МПа (50—200 кгс/см²), что, конечно, оценивается положительно. Введение глинозема повышает модуль упругости, прочность материала и удлиняет интервал спекания.

Повышение температуры обжига несколько снижает показатель белизны (в %), что связано с увеличением содержания стекловидной

Таблица V.5

Общая усадка и водопоглощение, %, масс 1—7, приведенных в табл. V.3

Показатель	Состав массы						
	1	2	3	4	5	6	7
Усадка после сушки при температуре 90° С	4,8	3,7	3,6	3,7	4,0	3,6	3,3
Усадка после обжига при температуре 1380° С	14,4	14,4	14,5	14,5	13,7	13,1	12,8
Водопоглощение	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,05	0,12

Т а б л и ц

Прочность массы при изгибе, МПа (кгс/см²)

Прочность при изгибе	Состав массы		
	1	2	3
После сушки при температуре 90° С	7 (72)	5,2 (53)	5,8 (60)
После обжига при температуре до 1380° С	83 (846)	89,2 (900)	86,2 (880)

Прочность при изгибе	Состав массы			
	4	5	6	7
После сушки при температуре 90° С	7,1 (73)	5,8 (63)	4,8 (49)	—
После обжига при температуре до 1380° С	97,1 (980)	96,1 (970)	98,8 (1175)	86,2 (880)

Т а б л и ц а

Белизна фарфора, %

Белизна фарфора	Состав массы						
	1	2	3	4	5	6	7
После обжига при температуре 1320° С	70	78	79	78	81	78	—
После обжига при температуре 1380° С	70	76	77	77	80	77	[illegible]

Т а б л и ц

Просвечиваемость фарфора разных составов

Показатель	Состав массы					
	1	2	3	4	5	6
Температура обжига 1320° С						
Толщина пластинки, мм	1,51	1,51	1,55	1,45	1,53	1,47
Просвечиваемость	0,390	0,662	0,501	0,515	0,481	0,60
Температура обжига 1380° С						
Толщина пластинки, мм	1,52	1,47	1,55	1,54	1,58	[illegible],32
Просвечиваемость	0,59	0,99	0,79	0,81	0,76	0,68

фазы (табл. V.7). В общем все массы показали после обжига хорошую белизну. Ввод глинозема усиливает белизну (масса 5).

Результаты определения просвечиваемости разного состава приведены в табл. V.8.

Просвечиваемость всех исследованных образцов фарфора оказалась лучше просвечиваемости эталонного образца.

Таблица V.9

Коэффициенты термического расширения фарфора

Состав массы	Температура, °C				
	100	300	500	700	900
1	3,27	5,42	5,88	6,14	5,55
2	4,01	5,03	5,83	6,14	5,49
3	3,88	5,56	6,09	6,24	5,61
4	3,88	5,25	6,07	6,24	5,62
5	3,51	5,49	6,45	6,69	9,07
6	4,26	5,41	6,24	6,54	5,89

Результаты измерения коэффициента термического расширения рфора (к. т. р.) $\cdot 10^{-6}$ приведены в табл. V.9.

По к. т. р. все фарфоры различаются незначительно, но все же ссы на алексеевском каолине (2, 3, 4, 5, 6) имеют более высокий р.

юзем не вызвал снижения к. т. р. (массы 5, 6), что можно с перекрытием влияния 3—4% глинозема более значительянием каолина алексеевского месторождения.

имо этих показателей, необходимо учитывать также текстуру зделия

трографический анализ показал, что степень зрелости образвсех масс после обжига при температуре 1350° С невысокая. айма вокруг зерен кварца узкая (менее 2 мкм), пограничная линия ошпатового расплава сохраняет свое очертание, муллит внутри ава наблюдается в незначительных количествах.

Необходимо отметить, что доброкачественный фарфор должен обладать однородностью, т. е. относительно равномерным распределением кристаллических и стекловидной фаз и незначительным содержанием газовой фазы.

3. РАСЧЕТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФОРМУЛЫ И КОЭФФИЦИЕНТА КИСЛОТНОСТИ

Молекулярная формула позволяет сравнивать составы разных масс и глазурей, изготовленных из разного сырья. В этой формуле количество всех основных окислов в молях (R_2O и RO) приводится к единице, а количество полуторных окислов (R_2O_3) и кислотных окислов (RO_2) в молях выражается по отношению к количеству основных окислов, принятых за единицу.

Молекулярная формула для керамических материалов была предложена Зегером (1875 г.) и в иностранной литературе часто называется формулой Зегера. Коэффициент кислотности (к. к.) представляет собою отношение эквивалентов кислот к эквивалентам оснований, считая по молекулярной формуле. Коэффициент кислотности возрастает при переходе к мягким фарфорам. У твердых фарфоров коэффициент кислотности находится в пределах 1,1—1,3, у мягких — 1,68—1,75. Коэффициент кислотности многих составов хозяйственного фарфора находится между этими величинами. Увеличение этого коэффициента свидетельствует об уменьшении стойкости фарфора в огне и о повышении его хрупкости.

По содержанию R_2O и RO считают, что повышение содержания K_2O за счет CaO в фарфоре способствует снижению температуры обжига такой массы. В фаянсовой массе увеличение содержания K_2O за счет CaO содействует получению более прочного и твердого фаянса. В обоих случаях повышение содержания CaO содействует образованию стеклофазы в фарфоре повышенной хрупкости.

Из химического состава фарфора можно рассчитать молекулярную формулу и коэффициент кислотности фарфора.

Пример. Воспользуемся химическим составом фарфора (масса 2), приведенным в табл. V.4, и рассчитаем молекулярную формулу и коэффициент кислотности (табл. V.10).

Таблица V.10

Расчет молекулярных формул окислов

Окисел	Молекулярная масса	Содержание окисла в фарфоре,		Группирование окислов		Приведение суммы R_2O и RO к единице
		%	моли			
SiO_2	60	71,0	1,1833	Na_2O	0,0137	0,2101
TiO_2	80	0,34	0,0045	K_2O	0,0308	0,4704
				MgO	0,0107	0,166
Al_2O_3	102	23,7	0,2332	CaO	0,0100	0,1533
					0,0652	1,000
Fe_2O_3	160	0,33	0,0020			
CaO	56	0,57	0,0100	Al_2O_3	0,2323	—
MgO	40	0,43	0,0107	Fe_2O_3	0,0020	—
K_2O	94	2,90	0,0308	SiO_2	1,1833	—
Na_2O	62	0,85	0,0137	TiO_2	0,0045	—

Приняв сумму R_2O и RO за единицу, получим молекулярную формулу фарфора

Na_2O	0,210	Al_2O_3	3,563	SiO_2	18,149
K_2O	0,471	Fe_2O_3	0,031	TiO_2	0,070
MgO	0,166				
CaO	0,153				
	1,000				

Определим коэффициент кислотности.

Сумма основания: $R_2O + RO = 1 \cdot 2 = 2$.

Сумма полуторных окислов: $Al_2O_3 = 3{,}563 \cdot 6 = 21{,}378$

$Fe_2O_3 = 0{,}031 \cdot 6 = 0{,}18$

Итого 23,558

Кислые окислы: $SiO_2 = 18{,}149 \cdot 2 = 36{,}298$

$TiO_2 = 0{,}070 \cdot 2 = 0{,}14$

Итого 36,438

Коэффициент кислотности $36{,}438 : 23{,}558 = 1{,}55$.

Имея молекулярную формулу керамики и глазури, можно рассчитать материальный состав массы и глазури, при этом должен быть известен химический состав сырья.

П р и м е р. Пусть дана молекулярная формула, определенная в примере для фарфора на алексеевском каолине и полевом шпате Т (см. табл. V.2). Предлагается рассчитать состав массы на просяновском каолине и пегматите Ч с вводом бентонита для придания пластичности массе. Составы предлагаемого сырья приведены в табл. V.11 и даны в процентах и в молях, получаемых делением количества окисла (в %) на соответствующую молекулярную массу.

Т а б л и ц а V.11

Состав исходного сырья

Окисел и потери	Просяновский каолин		Огланлинский бентонит		Пегматит		Кварцевые отходы	
	%	моли	%	моли	%	моли	%	моли
SiO_2	47,16	0,786	73,37	1,223	68,21	1,137	96,23	1,604
TiO_2	0,56	0,007	0,19	0,002	—	—	0,08	0,001
Al_2O_3	36,33	0,356	13,87	0,136	18,22	0,179	0,57	0,0056
Fe_2O_3	0,72	0,0035	1,14	0,007	0,23	0,0015	0,21	0,0013
CaO	0,71	0,009	2,64	0,047	0,68	0,012	0,39	0,008
MgO	0,56	0,0139	2,81	0,07	0,25	0,006	0,33	0,008
K_2O	0,56	0,006	0,33	0,0035	9,10	0,097	0,42	0,005
Na_2O	0,16	0,002	1,36	0,022	3,16	0,051	0,08	0,001
Потери при прокаливании	12,84	—	4,24	—	0,29	—	1,67	—

Ориентировочно принимаем, что требуемые по молекулярной формуле 0,471 моля K_2O вводятся с пегматитом. Для этого придется взять почти в четыре раза больше K_2O из пегматита (0,471 : 0,117), что потребует введения с пегматитом 0,179·4 = = 0,714 моля глинозема и 4,548 моля кремнезема. Недостающее количество глинозема — 3,563 — 0,714 = 2,849 моля — вводится в массу, главным образом из каолина, что определит 2,849 : 0,35 = 8-кратную потребность молей глинозема из каолина. С каолином будет введено в массу 0,786·8 = 6,288 моля кремнезема. Недостающее количество кремнезема — 18,149 — (6,288 + 4,548) = 7,313 моля — вводится в массу с кварцевыми отходами, что потребует увеличения в 7,313 : 1,604 = = 4,5 раз кварцевых отходов.

Т а б л и ц а V.12

Количество окислов во введенном в массу сырье

Окисел	Просяновский каолин ×8	Бентонит 4% моля	Пегматит ×4 моля	Кварцевые отходы ×4,5 моля	Сумма
SiO_2	6,288—0,031 -6,257	0,049	4,458	7,295	18,149
TiO_2	0,056	—	—	0,0045	0,061
Al_2O_3	2,835—0,014=2,821	0,005	0,7144	0,0255	3,546
Fe_2O_3	0,028	0,003	0,006	0,005	0,039
CaO	0,072	0,002	0,048	0,036	0,158
MgO	0,1112	0,003	0,024	0,036	0,174
K_2O	0,048	0,0001	0,396	0,021	0,464
Na_2O	0,013	0,001	0,204	0,005	0,213

Таким образом, на 8 мас. ч. каолина придется (считая в первом приближении) 4 масс. ч. пегматита и 4,5 масс. ч. кварцевых отходов. В пересчете на 100% это будет 48,5% каолина, 24,2% пегматита и 27,2% кварцевых отходов.

Для сообщения массе пластичности заменим, руководствуясь опытом, 4% каолина 4% бентонита и внесем соответствующие поправки на содержание окислов. Кремнезема будет в 4% бентонита (4·1,223): : 100 = 0,049 моля, а в 4% каолина (0,786·4) : 100 = 0,031 моля; на это количество уменьшится содержание кремнезема, вводимого с каолином 6,288—0,031 = 6,257 моля.

Соответственно кремнезема станет 6,257 + 0,049 + 4,548 = = 10,854 моля. Недостающее (по сравнению с молекулярной формулой) количество кремнезема 18,149—10,854 = 7,295 моля вводится с кварцевыми отходами. Внесем аналогичную поправку на содержание глинозема: вместе с 0,049 моля кремнезема войдет 0,136·0,049 : 1,223 = 0,005 моля глинозема и на 0,3564·4 : 100 = = 0,014 моля уменьшится содержание глинозема, вводимого с каолином 2,835—0,014 = 2,821 моля. Такие же поправки вносим для других окислов. В итоге молекулярный состав окислов будет тот, который приведен в последней графе табл. V.12. Он почти не отличается от состава, заданного молекулярной формулой.

4. ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ МАССЫ НА СВОЙСТВА ФАРФОРА

В л и я н и е и з м е н е н и я к о н ц е н т р а ц и и к р е м н е з е м а и г л и н о з е м а. Как известно, прочность фарфора существенно меняется в зависимости от концентрации кремнезема или глинозема. Повышение механической прочности фарфора при увеличении содержания кварца, изученное Краузе, было позднее обосновано Марцалем гипотезой развития напряжений сжатия в стеклофазе вследствие разности к. т. р. стеклофазы и кристобалита.

На основании этой гипотезы была предложена рекомендация оптимального содержания кварцевых зерен — не менее 35% (по Матьясовскому). Было также показано Зубчаниновым, что форма зерна кварца влияет на механическую прочность и лучшие результаты достигаются при использовании кварцевых отходов (после обогащения каолина) и прокаленного кремния.

Однако гипотеза напряженного состояния была поставлена под сомнение опытами Массона, который сравнил прочность фарфора с 20% нерастворившегося в расплаве кварца с прочностью фарфора, в котором почти весь кварц был заменен фарфоровым боем. Оказалось, прочность при разрыве первого составила 28 МПа (286 кгс/см²), второго 33,4 МПа (341 кгс/см²).

Возникло все же сомнение в достоверности опытов Массона, так как он использовал кварц в зернах разного размера (до 100 мкм), что вызывало возможность структурного снижения прочности. Поэтому Видман применил кварц весьма тонкого измельчения, систе-

матически заменяя его (в составе фарфоровой массы было кварца 44%, глинистых 38%, полевого шпата 18%) фарфоровым боем. Видман показал, что по мере уменьшения содержания кварца и увеличения содержания боя прочность при изгибе уменьшается по кривой σ (рис. V.1). Соответственно падает и к. т. р. фарфора (кривая α). Тот же исследователь доказал, что при уменьшении содержания кварца и при увеличении содержания боя и при ином, повышенном, содержании глинистых веществ и полевого шпата, прочность росла в обратном соотношении, а именно: при 0% боя составляла 74,1 МПа (756 кгс/см²), при 50 и 75% боя — 106,3 МПа (1084 кгс/см²). Противоречивость рассмотренных выше результатов может быть объяснена отсутствием учета влияния стекломуллитовой фазы. Развитие ее протекало в опытах авторов различно, а стекловидная фаза главным образом определяет прочность и другие свойства фарфора.

Рис. V.1. Изменение прочности и коэффициента термического расширения фарфора при изменении содержания кварца и боя

Но все же можно считать, что увеличение содержания кремнезема (кварца) в некоторых пределах (до 40%) и малые размеры его зерна благоприятствуют повышению прочности и термостойкости фарфора.

Существенное влияние в сторону снижения прочности фарфора могут оказать микротрещины, возникшие в связи с переходом β-кварца в α-кварц. Рекомендуют оптимум измельчения зерен кварца — 25 мкм, как и в массе типа «Сигмалам» (ГДР).

Вместе с тем повышенное содержание кварца в фарфоре благоприятствует проявлению им таких свойств, которые обязаны кристобалитизации, именно — повышению к. т. р. до $9 \cdot 10^{-6}$.

В некоторых случаях это может быть даже полезно, так как сближает к. т. р. фарфора с к. т. р. металла, например, при монтаже чугунными колпачками подвесных высоковольтных изоляторов и в связи с этим ослабляет проявления напряжений между фарфором и металлом. Рекомендуют (Фатор) получать такой кристобалитовый фарфор повышенной механической прочности и повышенного значения к. т. р. путем тонкого помола кварца и режимом охлаждения с 1350 до 1000° С по 20—30° С в час.

Растворение кварца протекает лучше в альбитовом расплаве, чем в ортоклазовом (Н. П. Лещенк). Имеется интересное наблюдение Назаренко относительно экранирующей роли зерен кварца, которые задерживают диффузию ионов алюминия в расплав полевого шпата и затрудняют кристаллизацию муллита.

О роли глинозема в фарфоре можно сказать следующее. Имеется ряд наблюдений о положительном влиянии Al_2O_3 на эксплуатационные свойства фарфора. Например, Л. А. Виноградов рекомендует вводить до 30% Al_2O_3 при размерах зерен 5—2,5 мкм.

Введение глинозема содействует увеличению концентрации ионов алюминия в полевошпатовом расплаве и усиливает муллитообразование в нем; при этом улучшаются эксплуатационные свойства стеклофазы и фарфора в целом.

Увеличение содержания глинозема в керамической массе можно осуществить либо вводом прокаленного каолина, либо вводом глинозема.

Однако в обоих случаях возникает необходимость в повышении температуры обжига (1380° С и выше), а, по Г. Н. Масленниковой, замена части кварца — 10% и полевого шпата — 20% на 30% глинозема вызвала после обжига, при температуре 1450° С увеличение прочности при изгибе с 980,6 до 176,5 МПа (10 000 —1800 кгс/см²), а модуль упругости возрос на 40%. Электрическая прочность фарфора с повышенным содержанием глинозема выше. Так, например, обычный высоковольтный фарфор после введения 12% глинозема и обжига массы при 1350° С показал электрическую прочность примерно 50 кВ/мм вместо обычных 25—30.

Введение (или возникновение) кристаллической фазы с большим, чем стеклофаза, значением модуля упругости E — вызывает и увеличение прочности фарфора. Поэтому, например, циркон ($E = 0{,}23 \times 10^6$ МПа) теоретически не будет иметь преимущества перед корундом при вводе его в фрафор для усиления прочности.

В то же время муллит, для которого значение E близко $(0{,}12 \div 1{,}3)\ 10^6$ МПа может упрочнить фарфор не менее, чем корунд, как это известно из опыта.

Отсюда целесообразно учитывать не только соотношение модулей упругости фаз, но и характер текстуры кристаллической фазы, введя коэффициент, который можно было бы назвать коэффициентом каркасности.

Влияние щелочеземельных окислов. Стеклофаза обычного твердого фарфора содержит 70—80% SiO_2, 8—16% Al_2O_3, 8—12% K_2O.

Если заменять в составе стеклофазы (был взят состав 81% мол. SiO_2 и 19% мол. K_2O) последовательно K_2O на CaO, MgO и Al_2O_3, то механическая прочность возрастает.

На рис. V.2 приведены результаты по нашим с И. Т. Синцовой данным замены в трех сериях составов (I, II, III).

Масштаб замен показан в нижней части диаграммы, микротвердость H_s и модуль сдвига G систематически возрастают. Особенно увеличилась прочность стеклофазы фарфора при совместном участии четырех окислов — 2% K_2O, 3% CaO, 9% MgO и 5% Al_2O_3.

Относительную прочность связи катионов с ионами кислорода в стекле могут характеризовать показатели Стивелса: Si^{4+} — 3,14, Al^{3+} — 1,69, Mg^{2+} — 0,95, Ca^{2+} — 0,69, K^+ — 0,27; наименьшая прочность у K^+.

Влияние стеклофазы на свойства фарфора. Стеклофаза в фарфоре должна иметь оптимальную вязкость и обеспечить смачиваемость твердых фаз и необходимую степень их растворимости и уплотнение черепка.

Вязкость расплава из калиевого полевого шпата в общем выше, чем у натрового.

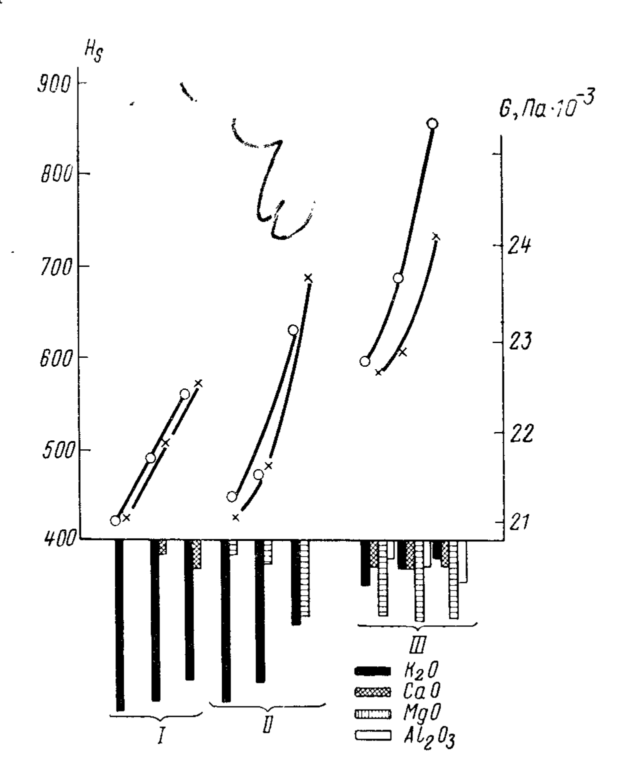


Рис. V.2. Влияние замены окислов K_2O, CaO, MgO, Al_2O_3 на изменение модуля сдвига G и микротвердости H_S

Смачиваемость этими расплавами твердых фаз при указанных температурах почти полная, и косинус угла смачивания может быть принят равным единице.

Величина поверхностного натяжения этих расплавов при тех же температурах 250—350 эрг/см².

Кварц начинает заметно растворяться в расплавах калиевого и натрового полевого шпата при температуре 1200° С. Вначале растворение происходит энергично, затем замедляется, но повышение температуры усиливает растворение. Расплав микроклина растворяет кварц лучше, чем расплав альбита.

Растворимость корунда в полевошпатовом расплаве меньшая, чем кремнезема, и протекает менее интенсивно.

Влияние добавок. Минеральные добавки, вводимые в керамические массы, часто называют минерализаторами. Сенклер де Виль, введя в прошлом веке термин «минерализатор», имел в виду газообразное тело, ускоряющее образование минерального вещества, но с ним не соединяющееся. В наше время к минерализаторам относят любые минеральные добавки. В некоторых случаях количество добавок столь значительно, что их можно рассматривать как самостоятельную фазу. Влияние добавок на свойства фарфора показано в табл. V.13.

Влияние пористости. Пористость (технологическая, или макропористость) связана с наличием: 1) воздушных включений в керамической массе в результате ее механической обработки и 2) газовых включений в результате диссоциации при обжиге массы — каолинита и других гидратных глинистых минералов, карбонатов, например, $CoCO_3 \cdot MoCO_3$, сульфидов, сульфатов, окислов. В итоге

Таблица V.13

Влияние добавок на свойства фарфора

Материал	В какую массу добавлен	Количество добавки, %	Влияние добавок
Тальк	Фарфор хозяйственный, высоковольтный	1—2	Снижает температуру уплотнения фарфора на 20—30° С, улучшает образование муллита, повышает прочность при ударе и изгибе
Ашарит	Фарфор высоковольтный	6	Содействует выравниванию текстуры и муллитизации, увеличивает вдвое прочность при изломе, повышает электрическую прочность, уменьшает интервал спекания
Корунд	Фарфор высоковольтный и специальный	10—12 в тонкодисперсном состоянии (2—4 мкм)	Повышает огнестойкость, химическую стойкость, модуль упругости, микротвердость стеклофазы, прочность при изгибе и ударе, термостойкость, плотность, уменьшает коэффициент линейного расширения, просвечиваемость, удлиняет интервал спекания, повышает температуру спекания и вязкость стеклофазы
Циркон	Хозяйственный, высоковольтный, химический	До 80%	Циркон вводят в высоковольтный и химический фарфор, что повышает его прочность на 50—200%, термостойкость, микротвердость, химическую стойкость, электрическую прочность

пористость независимо от ее происхождения может влиять на развитие текстуры и свойства материала изделия. Для фарфора это могут быть: механические свойства (прочность и модуль упругости), электрические (пробой, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла потерь) и оптические (просвечиваемость).

Малая изученность взаимосвязи между этими свойствами и пористостью фарфора позволяет ограничиться рассмотрением влияния пористости на механические свойства.

Поры, как известно, ослабляют прочность керамического изделия, что может быть описано экспоненциальным уравнением (В. М. Грапянов, В. Н. Фищев)

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\kappa \frac{\Pi}{1-\Pi}\right),$$

где σ — прочность при пористости П (объемная часть пор);
σ_0 — прочность при $\Pi = 0$;
к — константа;
П — пористость.

Значение к для фарфора может быть принято 3,8, для фаянса —3,6.

В общем увеличение пористости на 1% в объеме черепка соответствует в некоторых пределах понижению прочности на 3,5—4%.

Зависимость модуля упругости некоторых гетерогенных систем от пористости была изучена многими исследователями, которые предложили ряд эмпирических формул.

Г. Н. Масленникова наблюдала при помоле фарфоровой массы с 3200 до 7500 $м^2/г$ удельной поверхности изменение E в очень малых пределах от $0,87 \cdot 10^6$ до $0,89 \cdot 10^6$ МПа, тогда как прочность черепка при изгибе (по ее данным) возросла значительно — с 83,3 до 103 МПа (850—1050 $кгс/см^2$).

5. ГЛАЗУРИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ТОНКОЙ КЕРАМИКИ

Глазури придают изделиям влагонепоглощаемость и гигиеничность в случае, если черепок порист, увеличивают прочность и эксплуатационную стойкость, улучшают внешний вид.

Определяющим показателем соответствия глазури черепку выступает коэффициент теплового расширения.

Опытом установлено, что повышение общей прочности и термостойкости фарфорового изделия может быть достигнуто, если к. т. р. глазури несколько меньше к. т. р. черепка. Вследствие этого в глазурном слое при охлаждении изделия развиваются напряжения сжатия. Так как прочность стекол при сжатии значительно выше, чем при растяжении, то напряженно сжатая глазурь содействует упрочнению изделия на 40—50% и повышению его термостойкости.

Значения к. т. р. глазурей следующие:
для фарфора $(3,6 \div 4,5) \cdot 10^{-6}$,
для каменного товара $(3,9 \div 4,5) \cdot 10^{-6}$,
для полешпатового фаянса $(5 \div 7) \cdot 10^{-6}$.

Несоответствие к. т. р. неглазурованного фарфора может вызвать два вида дефекта глазури. 1. Если к. т. р. глазури значительно больше к. т. р. фарфора, то при охлаждении фарфор будет сжиматься меньше, чем покрывающая его глазурь, она будет находиться в состоянии напряжения растяжения и начинает разрываться во многих местах, возникает цек. 2. Если к. т. р. глазури значительно меньше к. т. р. фарфора, то глазурь будет находиться в состоянии большого напряжения сжатия и начнет отрываться от фарфора или от образовавшегося слоя между фарфором и глазурью. Если к. т. р. глазури на 6—15% ниже к. т. р. фарфора, то в слое глазури развиваются напряжения сжатия, по Н. Ф. Кочетковой, от 78,4 до 11,7 МПа (80—120 $кгс/см^2$), которые вызывают повышение прочности изделия. Практическим показателем термостойкости глазури служит испытание по Гаркорту.

Чем толще слой глазури, тем менее он термостоек. Нормальная толщина слоя глазури около 0,1 мм.

Микротвердость Н фарфоровой глазури и ее прочность $\sigma_{изг}$, $кг/мм^2$, находятся в таких, примерно, соотношениях: при $H = 525$ $\sigma_{изг} = 81,3$, при $H = 550$ $\sigma_{изг} = 97,1$, при $H = 600$ $\sigma_{изг} = 105$ МПа.

При разливе глазури на фарфоре в обжиге происходит взаимодействие материала фарфора с глазурью и частичное его растворение. Такое растворение сопровождается уменьшением к. т. р. глазури и развитием напряжений сжатия в слое при охлаждении изделия. Вместе с тем происходит образование промежуточного слоя между глазурью и фарфором. Толщина этого слоя несколько десятков микрон, возрастает с удлинением выдержки фарфора в обжиге. Такое реакционное взаимодействие рассматривается положительно.

В зависимости от состава глазури и керамического черепка в промежуточном контактном слое могут находиться фазы анортита, муллита, ганита, энстатита и другие. Поэтому строение промежуточного слоя влияет на прочность изделия. Контактный слой содействует выравниванию термических напряжений между глазурью и телом изделия.

Изменение состава и тонкого строения промежуточного слоя может произойти при одной и той же глазури на одном и том же изделии. Наблюдались случаи (Штегер), когда повышение температуры обжига фаянса с 1060 до 1140° С вызывало переход отрицательных напряжений (склонность к цеку) в положительные (склонность к отскоку глазури).

Поэтому хорошо подобранная к изделию глазурь будет проявлять свои достоинства и сохранять должное состояние в тех условиях обжига, в которых происходила ее разработка.

Напряженное состояние глазури («+» или «−») может возникать из-за неполного соответствия коэффициентов линейного расширения глазури и черепка, а также из-за неодинаковых условий охлаждения разных участков изделия. Первые устраняются подбором к. т. р., а вторые — снятием напряжений в пределах температур пластичного состояния глазури. В табл. V.14 приведены такие температуры для глазурей разного типа (по Штегеру).

Таблица V.14

Температуры снятия термических напряжений у глазурей

Тип глазури	Температура начала выравнивания напряжений, °C	Температура выравнивания напряжений, °C	Температура заметного размягчения глазури, °C
Для твердого фарфора	680	720	880
Для мягкого фарфора	540—670	580—680	760—870
Для фаянса и майолики . . .	390—470	410—515	430—600

Характеристику поведения глазури в обжиге можно получить по сравнительным кривым расширения и сжатия, получаемым с помощью дилатометра.

Опыт показал, что, помимо к. т. р., имеет значение для прочности и термостойкости глазури модуль упругости. Глазурь с большим модулем упругости менее термостойка. Значение этого модуля для фарфоровых глазурей (0,57÷0,65) 10^5 МПа.

6. ГЛАЗУРИ ДЛЯ ФАРФОРА

1. Расчет глазури по правилу аддитивности. Разработка состава глазури для фарфора должна предусматривать сочетание таких составных частей, которые могут обеспечить сохранение условий равномерности взаимного полного растворения компонентов глазури, проявление должной вязкости и поверхностного натяжения глазурного расплава на изделии во время его политого обжига — разлива глазури.

В фарфоровой глазури образование стекла осуществляется на самом изделии в узком интервале температур разлива глазури. Поэтому получение однородного расплава и равномерности его разлива на поверхности изделия ограничивает выбор сырья для такой глазури.

Фаянсовая же глазурь отличается от фарфоровой тем, что главные ее компоненты применяются в заранее сплавленном состоянии в виде фритты, и в ней условие взаимного растворения достигнуто еще до ее расплавления.

Разработка состава фарфоровой глазури может идти по пути преимущественного использования полевого шпата, который в значительном количестве входит и в состав фарфора, или по пути замены части полевого шпата карбонатами кальция и магния, тальком с корректировкой состава карбонатом лития, окисью цинка, двуокисью циркония и другими (см. табл. V.20).

Такая корректировка необходима для получения наибольшей согласованности глазури с керамической массой.

В состав фарфоровой глазури вводится политой бой фарфора. Бой «роднит» глазурь с черепком, но снижает ее товарный вид.

При значительном бое в глазури может понизиться белизна глазурованных изделий, так как в фарфоре содержится больше крася-

щих силикатов, чем в глазури. Фарфоровые глазури более тугоплавки, чем многие стекла, поэтому точка перехода пластического состояния в твердое (Tg) наблюдается в интервале 700—800° С.

Учитывая необходимость обеспечения благоприятных условий для реакции взаимодействия составных частей фарфоровой глазури и получения однородного покрытия на черепке тонкий помол ее доводят до 0,1—0,2% остатка на сите с 10 000 отв./см².

Фарфоровые глазури не идентичны стеклам, так как в глазурях могут находиться нерастворившиеся зерна кварца и фарфорового боя, пузырьки газа, кристаллы новообразовавшихся фаз. Однако благодаря своему основному стеклообразному состоянию ряд свойств глазури может быть рассчитан по правилу аддитивности. Для этой цели можно применять парциальные значения по А. А. Аппену (табл. V.15).

Таблица V.15

Коэффициенты для расчета свойств глазури

Окисел	Молекулярная масса	Средний коэффициент линейного расширения $\alpha_{20-4} \cdot 10^6$	Модуль упругости $E \cdot 10^4$, МПа	Поверхностное натяжение σ, нН/см (мгс/см), при 1300° С
SiO_2	60,06	5—38	7,15—6,5	0,29 (290)
TiO_2	79,9	—15 до +30	17,1	0,25 (250)
ZrO_2	123,2	—60	—	0,35 (350)
B_2O_3	69,6	—50 до 0	1,0—18	Повышенная активность
Al_2O_3	101,9	—30	11,4	0,58 (580)
MgO	40,3	60	9,2	520
CaO	56,1	130	11,5	510
SrO	103,6	160	9,65	490
ZnO	81,4	50	6,0	450
PbO	223,2	115	5,7	430
FeO	71,8	55	5,2	490
Na_2O	62	395	5,95	295
K_2O	94,2	465	4,1	Повышенная активность

Значение парциального коэффициента линейного расширения для SiO_2 зависит от его содержания в стекле или глазури. Если содержание SiO_2 более 67%, то значение α вычисляется по уравнению $\alpha_{SiO_2} = 38 - 1$ (% SiO_2 в глазури — 67).

Пример расчета состава глазури

Состав, %:	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
химический . .	72,35	0,13	0,25	13,67	4,26	2,66	5,50	1,18
молекулярный	1,2058	0,0016	0,0016	0,1342	0,0761	0,0665	0,0585	0,0193
			0,1358		0,2204			
Молекулярная формула	5,471		0,615		0,345+0,302+0,265+0,088 Σ = 1			

Определяем значение парциального α для SiO_2.

Сумма молей окислов глазури 5,471 + 0,615 + 1 = 7,086.

Содержание, %, SiO_2: 7,086 — 100,

5,471 — X; X 77,24% SiO_2.

Значение $\alpha_{SiO_2} = 38 - 1\,(77{,}24 - 67) = 27{,}76 = 28$.

Подсчитаем значения α по окислам:

$SiO_2 = 5{,}471 \cdot 28 = 153{,}18$.

$Al_2O_3 = 0{,}615 \cdot (-30) = -18{,}45$.

$CaO = 0{,}345 \cdot 130 = 44{,}85$.

$MgO = 0{,}302 \cdot 60 = 18{,}12$.

$K_2O = 0{,}265 \cdot 465 = 123{,}22$.

$$Na_2O = \frac{0{,}088}{77{,}086} \cdot 395 = \frac{34{,}76}{354{,}59}$$

К. т. р. $= 354{,}59 : 7{,}086 = 5 \cdot 10^{-6}$.

Предложена новая методика расчета состава глазурей (а также эмалей и стекол), разработанная Г. В. Куколевым и Г. Е. Штефаном. Эта методика состоит в решении способом матриц системы уравнений, составленных с использованием правила аддитивности для расчета таких показателей, как температура разлива глазури, к. т. р., модуль упругости, прочность при разрыве и др. Этот метод позволяет значительно ускорить подборку состава глазури, отвечающей заданным требованиям.

2. Молекулярная формула фарфоровой глазури и ее состав. Прежнее представление об установившемся составе глазури для твердых фарфоров

$$\left.\begin{matrix} 0{,}1K_2O \\ 0{,}1Na_2O \\ 0{,}55CaO \\ 0{,}25MgO \end{matrix}\right\} 1{,}2Al_2O_3 \cdot 10SiO_2$$

в наше время несколько изменилось.

Опыт показал целесообразность таких соотношений: K_2O/Na_2O не менее 2, CaO/MgO не менее 1, сумма RO обычно превышает сумму R_2O не менее, чем в 3 раза.

Содержание глинозема в молекулярной формуле фарфоровой глазури и отношение Al_2O_3/SiO_2 растет, как это было показано еще Берделем, по мере необходимости повышения тугоплавкости глазури. Так, для мягких фарфоров требуется легкоплавкая глазурь с температурой разлива около 1230° С, она содержит 0,35—0,5 моля Al_2O_3

Таблица V.16

Молекулярный состав фарфоровых глазурей

Глазурь	SiO_2	TiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	ZnO
№ 5	$\frac{74{,}95}{12{,}5}$	0,17	0,26	$\frac{13{,}75}{1{,}35}$	$\frac{3{,}68}{0{,}66}$	$\frac{2{,}62}{0{,}066}$	$\frac{2{,}68}{0{,}028}$	$\frac{0{,}87}{0{,}014}$	$\frac{0{,}02}{0{,}012}$
№ 9	$\frac{72{,}06}{12{,}0}$	0,20	0,39	$\frac{14{,}02}{1{,}38}$	$\frac{4{,}71}{0{,}084}$	$\frac{3{,}10}{0{,}073}$	$\frac{2{,}60}{0{,}028}$	$\frac{0{,}78}{0{,}025}$	$\frac{2{,}14}{0{,}026}$

и 3,5—4,5 моля SiO_2. Для более твердых фарфоров требуется глазурь с разливом при 1300—1350° С. Она содержит 0,6—0,9 моля Al_2O_3 и 5,2—7,5 моля SiO_2. Фарфоровая глазурь с разливом при 1380—1460° С содержит 0,9—1,2 моля Al_2O_3 и 8,5—11 молей SiO_2.

В табл. V.16 и V.17 приведены молекулярные и шихтовые составы фарфоровых глазурей № 5 и 9, давшие хороший разлив на фарфоре № 2 и 5 с температурой разлива 1350—1380° С.

Таблица V.17

Шихтовой состав, %, фарфоровых глазурей

Материал	Глазурь № 5	Глазурь № 9
Полевой шпат талдыкурганский	16,2	13,2
Кварц жильный двух месторождений	27,5	29
Каолин алексеевский гидроциклонный	7,3	5
Волластонит	7,7	—
Тальк алгуйский	8,3	—
Доломит	—	12,8
Бой политой	32	38
Окись цинка	1	2

Эти глазури при испытании по «трем точкам» (т. е. температура начала спекания t_1, огнеупорность t_2, начала плавления t_3) оказались сходными (табл. V.18), хотя составы их и были разными.

Таблица V.18

Температура спекания, огнеупорности и начала плавления фарфоровых глазурей

Глазурь	t_1 ПК	t_2 ПК	t_3 ПК
№ 5	123	123—125	128
№ 9	123—125	125	128

Термостойкость глазурей (по Харкорту) удовлетворительная: выдержали по 12 теплосмен.

Степень белизны (на массе № 2) у глазури № 5—66,5%, у глазури № 9 — 64%. Микротвердость 58,8 МПа (600 кгс/см²).

Коэффициенты термического расширения фарфоровых глазурей, сплавленных при 1350° С, приведены в табл. V.19.

Из данных табл. V.19 видно, что к. т. р. глазурей невелики, они меньше к. т. р. фарфора, как это и требует теория напряженного состояния.

Толщина слоя глазури на изделиях 0,2—0,16 мм, т. е. она близка оптимальным величинам 0,12—0,10 мм.

Таблица V.19

Коэффициенты термического расширения фарфоровых глазурей и форфора

Глазурь	$\alpha \cdot 10^6$ в интервале температур, °С			
	100	300	500	700
№ 5	2,43	3,84	4,11	4,28
№ 9	3,01	4,03	4,36	4,55
Фарфор из массы № 2 (см. табл. V.3 и V.9)	4,01	5,03	5,88	6,14

Характеристика некоторых свойств глазурей для полутвердых украинских фарфоров (по М. Г. Сивчикову, Ф. Л. Дайн, О. С. Гулай) такова: коэффициент кислотности 1,47—1,93, к. т. р. $(4{,}7 \div 5{,}5)\ 10^{-6}$, прочность при изгибе 77,6—99 МПа (792—1009 кгс/см²), прочность при ударе 0,2—0,25 МПа (2,1—2,59 кгс/см²), белизна 55—64%, интервал плавления 1200—1300° С, температура разлива 1280—1320° С.

7. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ГЛАЗУРИ НА ЕЕ СВОЙСТВА

Как известно, чистое кремнеземистое стекло (плавленный кварц) совершенно прозрачно, вполне устойчиво к действию воды и кислот (кроме плавиковой), при нагревании выше 1000° С расстекловывается в кристобалит, очень вязко, газопроницаемо при высокой и нормальной температурах, коэффициент линейного расширения его очень низок — $0{,}51 \cdot 10^{-6}$.

Введение в такое стекло (глазурь) катионов вызывает частичное размыкание связей Si—O—Si и образование связей Si—O—Me, вследствие чего стекло приобретает более разрыхленное строение, увеличение к. т. р., ослабление химической стойкости и в ряде случаев понижение механической прочности. Степень развитости связей Si—O—Si и связей Si—O—Me и величина первичных блоков в тонком строении кремнеземистого сырья разных видов и разного происхождения различны. Так как кремнезем выступает количественно определяющим окислом в глазурях, то влияние происхождения кремнезема на свойства глазури и на интервал ее разлива заметно.

Наиболее длинный интервал разлива (900—1050° С) наблюдался (по Ю. Я. Эйдуку) при одновременном вводе в глазурь трепела и силиката натрия.

Что касается иона алюминия, то Al^{3+} может находиться как в тетраэдрической координации, так и в октаэдрической, соответственно AlO_4^{5-} и AlO_4^{6-}.

Условия разной координации определяются главным образом концентрацией щелочных и щелочноземельных катионов. Среди щелочных катионов Al^{3+} находится в четверной координации. Такие глазури будут наименее кислото- и водостойки.

Среди щелочноземельных катионов Al^{3+} находится в шестерной координации. Такие глазури имеют повышенную механическую прочность и химическую стойкость. Ион Al^{3+} устраняет или задерживает кристаллизацию глазурей.

Вязкость глазури существенно зависит от концентрации и кристаллохимического состояния Al^{3+} и от катионов в составе RO и R_2O.

Вязкость фарфоровых глазурей при Tg составляет 10^{11}—10^{13} п; при разливе $2 \cdot 10^3$—$2 \cdot 10^4$ п для фаянсовых бессвинцово-безборных глазурей при 10^5 п (по Ю. Я. Эйдуку).

Выяснено, что щелочные катионы повышают вязкость в такой последовательности: Li^+ (0,68) $<$ Na^+ (0,98) $<$ K^+ (1,33). В скобках приведены ионные радиусы по Белову и Бокий в Å. Щелочноземельные ионы примерно в тех же концентрациях повышают вязкость в ряду Mg^{2+} (0,78) $<$ Zn^{2+} (0,83) $<$ Ca^{2+} (1,04) $<$ Sn^{2+} (1,20) $<$ $<$ Ba^{2+} (1,38).

Увеличение ионного радиуса соответствует увеличению вязкости расплава глазури.

Однако совместное влияние иона Al^{3+} в таких исследованиях не было учтено.

Ионы Fe^{2+} + Fe^{3+} в сумме снижают вязкость глазури сильнее, чем Mg^{2+}.

Поверхностное натяжение глазурей (σ) систематически не изучалось (относительно стекол смотрите далее расчетные парциальные

Таблица V.20

Влияние глазурей на свойства фарфора

Окисел	Концентрация окисла в глазури, масс. %	Изменение к. т. р. $\alpha \cdot 10^6$	Прочность при изломе глазурованных фарфоровых образцов, МПа (кгс/см²)	Белизна глазурованного фарфора, %
Al_2O_3	2—20	Равномерно растет от 5 до 5,25	Растет с 74 до 96 (750—980)	Растет с 64 до 68
CaO	2—12	Равномерно растет от 4,5 до 6,2	Падает с 78,4 до 56 (800—570)	Слабо растет при 2—4% CaO и далее падает с 68 до 64
MgO	4—6	Падает от 5 до 4,9	Не изменяется — 69 (700)	Слабо падает с 68 до 67,5
ZnO	2—8	Без изменения	Падает с 95 до 85,3 (970—870)	Падает с 70 до 69
SrO	2—6	То же	Падает с 79,4 до 56 (810—570)	Переменно рост до 64, падение до 61
SrO_2	6—14	Растет от 4,7 до 5,8	—	—
ZiO_2	2—8	Без изменения	Падает с 9,8 до 9,7 (100—98)	Растет с 70 до 78
Li_2O	2—4	—	Падает с 70,6 до 32 (720—330)	Падает с 66 до 62

коэффициенты по Аппену). Определение методом поверхностного натяжения сидящей капли дает наиболее достоверные результаты.

Имеются данные, из которых следует, что 5%-ная добавка нижеперечисленных окислов к исходной глазури для высоковольтного фарфора с $\sigma = 0{,}405$ нН/см (405 мгс/см) вызвала такие изменения:

BaO	BeO	MnO	ZnO	B_2O_3	Fe_2O_3
365	385	400	430	445	460

Окислы бария, бериллия и марганца понизили σ, остальные — повысили.

Влияние изменения состава глазури для хозяйственного фарфора на его свойства приведено (по М. Г. Сивчикову, Ф. Л. Дайн, О. Г. Гулай) в табл. V.20.

Наименьшее влияние на изменение свойств глазури оказывают MgO и ZnO.

Положительно действует в сторону повышения прочности и белизны при почти неизменном к. т. р. Al_2O_3. Положительно также действие ZrO_2, хотя прочность не возрастает.

Коэффициент кислотности глазурей для мягкого фарфора 1,4—1,6, для твердого — 1,8—2,5.

8. ГЛАЗУРИ ДЛЯ ФАЯНСА И МАЙОЛИКИ

Фриттование (сплавление) обычно до 1350° С хорошо смешанных шихт глазурей для фаянса и майолики не исключает все же их неоднородности. Такие глазури не являются полными аналогами стекол и, кроме того, в глазурь перед глазурованием вводятся неорганические мельничные добавки (глина, каолин). Мельничные добавки, не успев раствориться в глазури, могут быть центрами кристаллизации.

Глазури эти легкоплавки; их разлив находится в зависимости от состава и лежит в пределах 1050—1250° С. К. т. р. фаянсовых глазурей $5-6{,}8 \cdot 10^{-6}$, фаянсовых масс $6-8{,}5 \cdot 10^{-6}$.

В химическом отношении фаянсовая глазурь должна иметь больший коэффициент кислотности, чем у фаянса. Коэффициент кислотности фаянсовых масс 1,2—1,3, фаянсовых глазурей — 1,5—2,5.

Значительное повышение коэффициента кислотности (путем, например, повышения содержания кремнезема) может вызвать расстекловывание глазури, ее помутнение и потерю блеска, вместе с тем повысится тугоплавкость глазури, ее вязкость и возрастает склонность глазури к отскоку от черепка.

Сообразно составу можно подразделить фаянсовые глазури на 4 группы: свинцовые ($N = 1{,}74—1{,}59$ и интервал обжига 110—150° С), свинцово-борные ($N = 1{,}55—1{,}52$ и интервал обжига 80—100°), борные ($N = 1{,}47—1{,}54$ и интервал обжига 70—140° С), безборно-бессвинцовые ($N = 1{,}54—1{,}52$ и интервал обжига 80—110° С).

Первые два вида не применяются в отечественных производствах хозяйственной посуды из-за ядовитости соединений свинца. Оптимальные температуры обжига свинцовых глазурей 930—1030° С, бор-

ных — 830—1030° С, безборных — 990—1035° С (по Ю. Я. Эйдуку, А. Я. Вайваду, А. Ю. Упите).

Борные глазури безвредны, но в работе трудны из-за частых колебаний состава борсодержащих минералов (ашарит, гидроборацид и др.) и вследствие появления нередко поверхностной кристаллизации, зарождающейся от нерастворившихся мельничных добавок.

Поэтому получили распространение смешанные глазури, борополевошпатовые и безборные.

Двуфриттовая борополевошпатовая глазурь, успешно применяемая на одном из заводов, по Ф. С. Фадееву, такова:

$$\left.\begin{matrix} 0{,}383Na_2O \\ 0{,}064K_2O \\ 0{,}088MgO \\ 0{,}218CaO \\ 0{,}246SrO \end{matrix}\right| \begin{matrix} 0{,}290Al_2O_3 \\ 0{,}004Fe_2O_3 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} 2{,}662SiO_2 \\ 0{,}003TiO_2 \\ 0{,}250B_2O_3 \end{matrix}\right.$$

Химический состав этой глазури, %: $SiO_2 = 48{,}64$; $B_2O_3 = 5{,}32$; $TiO_2 = 0{,}08$; $Al_2O_3 = 9{,}04$; $Fe_2O_3 = 0{,}22$; $CaO = 3{,}71$; $MgO = 1{,}08$; $K_2O = 1{,}85$; $Na_2O = 7{,}24$; $SrO = 7{,}76$; потери при прокаливании = 15,06.

Материальный состав фритты и глазури приведен в табл. V.21.

Таблица V.21

Состав фритты и глазури, %

Материал	Фритта 1	Фритта 2	Глазурь
Полевой шпат	14,8	29,4	Фритта 1—60
Песок	29	25,4	Фритта 2=31
Целестин	3,7	—	Каолин просяновский -7,5
Бура	6,2	16,3	Бой политой 1,5
Боратная руда	5,8	9	
Сода	10,4	6,4	
Мел	2	3	
Карбонат стронция	12,6	10,5	
Бой политого фаянса	15,5	—	

Химический состав примененного сырья приведен в табл. V.22.

Интересны в промышленном отношении глазури со стронциевыми и литиевыми соединениями (по Ю. Г. Штейнберг); химический состав фритт и шихтовые составы их приведены в табл. V.23 и V.24.

Свойства глазурей показаны в табл. V.25.

Термостойкость определялась после политого обжига для глазури № 111 при 1140—1180° С, для глазурей № 3 и 113 — при 1000—1040° С.

Поверхностное натяжение глазурей № 3—325, № 111—335 эрг/см².

Таблица V.22

Состав сырья, использованного для приготовления глазури, %

Материал	SiO_2	B_2O_3	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO
Полевой шпат	64,87	—	—	20,02	—	1,20
Песок	99	—	—	0,52	0,12	0,38
Целестин	1,33	—	—	0,23	0,08	—
Боратная руда	0,32	30,14	—	0,56	22,17	—
Мел	4,22	—	—	0,77	—	53,4
Карбонат стронция	4,13	—	—	0,48	0,96	6,79
Политой бой	72	—	0,54	25,02	0,63	0,52
Бура	—	68,03	—	—	—	—
Сода	—	—	—	—	—	—

Материал	MgO	K_2O	Na_2O	SrO	SO_3	Потери при прокаливании
Полевой шпат	—	9,22	4,69	—	—	—
Песок	—	—	—	—	—	—
Целестин	—	—	—	55,67	42,69	—
Боратная руда	15,46	—	—	—	—	28,35
Мел	0,18	—	—	—	—	41,43
Карбонат стронция	0,53	0,22	1,08	59,46	2,17	24,18
Политой бой	0,23	0,96	0,1	—	—	—
Бура	—	—	16,33	—	—	45,64
Сода	—	—	58,97	—	—	43,03

Таблица V.23

Химический состав фритт борностронцийлитиевых глазурей

Фритта	SiO_2	Al_2O_3	B_2O_3	SrO	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Li_2O
№ 3 для майолики	62,7	7,1	7,4	8,9	3,9	0,97	1,6	7,0	0,7
№ 111 для фаянса	60,4	6,85	—	17,04	—	3,0	4,0	7,8	—
№ 113 для майолики	65,0	7,3	7,4	9,0	0,5	1,9	3,9	5,9	—

Фаянсовые глазури имеют значительно больший, чем фарфоровые, к. т. р. и меньшую температуру разлива.

Фаянсовые и майоликовые глазури могут быть бесцветными или окрашенными путем введения в шихту таких окислов, как CuO, Cr_2O_3, CoO и др.

Кристаллизацию глазурей с декоративными целями можно осуществить введением V_2O_5, MoO_3, TiO_2, ZnO.

Глушение глазурей, широко применяемое с древних времен, достигается посредством создания в глазури разницы показателей преломления двух фаз — матричной прозрачной стекловидной и тонкодиспергированной в ней кристаллической или газовой. Чем больше

Таблица V.24

Шихтовый состав фритт борностронцийлитиевых глазурей, %

Глазурь	Полевой шпат	Кварц	Карбонат стронция *	Доломит	Мел	Сода	Бура	Магнезит	Сподуменовый концентраг
№ 3	14,0	34,0	12,0	3,9	3,0	5,0	16,1	—	12
№ 111	24,3	36,0	23,1	—	—	10,1	—	6,6	—
№ 113	29,2	33,5	12,2	—	—	2,3	16,8	3,0	—

* Карбонат стронция содержал 64,5% SrO.

эта разница, тем с меньшим количеством диспергированной фазы можно создать хорошее глушение.

Показатели преломления глушителей для глазурей таковы: $ZrO_2 \cdot SiO_2$ — 1,85; SnO_2 — 2,04; ZrO_2 — 2,4; Sb_2O_3 — 2,6; TiO_2 — 2,6.

Для глушения можно использовать фторсодержащие соединения: криолит — Na_3AlF_6, кремнефторид натрия — Na_2SiF_6, фториды — BaF_2, SrF_2, что, впрочем, сопряжено с опасностью появления «наколов» в глазури.

Усиление глушения достигается вводом добавок, например, ZnO при Na_2SiF_6, приолита — при TiO_2.

Таблица V.25

Свойства борностронцийлитиевых глазурей

Глазурь	Микротвердость, $Н/мм^2$	Коэффициент теплового расширения 20—400° С × 10^6	Модуль упругости Е · 10^7, $Н/м^2$	Прочность при изломе 10^5, $Н/м^2$	Плотность, $г/см^3$	Термостойкость при °С (по Харкорту)	Огнеупорность $t_1 - t_2$
№ 3	6130	7,75	800	890	2,62	110—150	—
№ 111	4800	8,85	770	670	2,70	170—199	850—880
№ 113	6320	7,5	794	1072	2,65	120—160	716—780

Механизм глушения разнообразен. Глушение может быть достигнуто посредством механического распределения в стеклофазе глазури тонкодисперсного глушителя еще во время составления и размола шихты для фриттования; перекристаллизацией из расплава, например, циркона в виде идиоморфных мелких кристаллов циркона после растворения исходного циркона; в результате протекания реакции с образованием в расплаве кристаллической фазы, например, диопсида $CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ и т. п.

Для сравнения влияния окислов на свойства глазурей приведена табл. V.26.

Таблица V.26

Влияние окислов на свойства глазурей

Окисел	Влияние на свойства глазури
SiO_2	Основной компонент глазури. Увеличивает тугоплавкость, вязкость, термостойкость, химическую стойкость, ограниченно повышает механическую прочность, при значительных количествах расстекловывает глазурь
ZrO_2	Повышает устойчивость глазури к цеку и изменяет ее вязкость; в растворенном состоянии повышает показатель преломления глазури, в больших количествах действует как глушитель, в фарфоровых глазурях — содействует повышению белизны
TiO_2	Регулирует вязкость, в растворенном состоянии (до 2%) повышает устойчивость глазури к цеку; глушитель и в определенных условиях — кристаллообразователь
Al_2O_3	Необходимый компонент глазури, задерживает расстекловывание, повышает тугоплавкость и вязкость, усиливает упругость, снижает склонность к цеку, ухудшает разлив глазури
B_2O_3	Активный стеклообразующий окисел, повышает твердость и упругость глазури, понижает показатель преломления глазури, сильно понижает температуру разлива глазури и кислотостойкость; при обжиге фаянса на мазуте целесообразно давать в глазурь больше B_2O_3, чтобы ослабить возможность ее кристаллизации
BeO	Значительно повышает электрическое сопротивление глазури, усиливает прочность, термостойкость, искростойкость, весьма токсичен
MgO	Содействует повышению прочности глазури при ударе и изломе, в малых количествах задерживает кристаллизацию
CaO	Повышает прочность и упругость (лучше, чем ZnO), усиливает склонность глазури к кристаллизации; поэтому предпочтителен доломитизированный известняк
SrO	Придает блеск и хороший разлив, повышает прочность
BaO	Усиливает блеск и прочность, повышает упругость и химическую стойкость, особенно к органическим кислотам
ZnO	Уменьшает склонность к цеку, повышает блеск и упругость, ухудшает химическую стойкость, увеличивает интервал разлива глазури, содействует яркости подглазурных красок; в определенных количествах и условиях — кристаллообразователь
Li_2O	Сильный плавень, снижает к. т. р., содействует разливу и блеску глазури, повышает термостойкость; рекомендуется как компонент фритты бессвинцовых глазурей для столовой посуды
Na_2O	Сильный плавень, существенно повышает к. т. р., снижает твердость, термостойкость, упругость, прочность; в расплаве понижает вязкость
K_2O	Действует подобно окиси натрия на свойства глазури, но несколько слабее, существенно повышает вязкость глазурного расплава
F	В малых количествах (0,5—1%) ускоряет варку стекла и плавление глазури, резко снижает вязкость расплава, но при количествах, более 1,5%, содействует кристаллизации, увеличивает к. т. р. Содержание фтора в шихте легкоплавких глазурей не должно превышать 0,8 моля. При фриттовании глазури улетучивается до 31% фтора, при плавлении глазури в обжиге теряется фтора от 18 до 69%

9. ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА МАССЫ И ГЛАЗУРИ ПРИ ОДНОКРАТНОМ ОБЖИГЕ ИЗДЕЛИЙ

Промышленный опыт показал, что хозяйственная фарфоровая посуда может быть изготовлена путем однократного обжига изделий из типовых фарфоровых масс и глазурей (Дмитровский, Первомайский и другие заводы). Имеются мнения о целесообразности некоторого повышения тугоплавкости глазури для однократного обжига вследствие необходимости предоставления свободного выхода газов из полуфабриката до значительного оплавления глазури (В. Герман). Считают также полезной добавку до 2% бентонита в массу для увеличения ее «сухой» прочности при глазуровании (М. Исакова и И. Ковачев, Г. Кох), введение карбоксилметилцеллюлозы (КМЦ) 0,15—0,25%, длительное (до 12 месяцев) вылеживание массы.

Один из составов масс и глазури, рекомендованных ГИКИ для однократного обжига, приведен в табл. V.27.

Первый помол опытной массы — до остатка 1,5—2% на сите № 0056; после добавления пластической составляющей и воды и выдерживания 2 ч — домол в течение 0,5 ч до остатка 1% на сите № 0056. Общая длительность помола 11—16 ч.

Плотность глазури должна быть на 0,02—0,04 г/см³ выше, чем при глазуровании фарфора после первого обжига, и составлять примерно 1,38 г/см³.

Введение добавок глицерина или КМЦ позволяет, по Н. Белостоцкой и Е. Бутылевой, регулировать кроющую способность глазури. Окончательная сушка изделий в радиационных сушилках при 400—450° С обеспечивает по опытам И. И. Мороза и Г. Я. Харитона благоприятные результаты глазурования изделий для однократного обжига.

Однократный обжиг достаточно надежно осуществим при толщине полых изделий не менее 2 мм с парафинированием края изделия и при влажности изделия перед глазурованием (подогретой глазурью) не более 1%.

Таблица V.27

Состав, %, фарфоровой массы и глазури для однократного обжига

Материал	Масса	Глазурь
Каолин просяновский	38	6
Глина трошковская	8	—
Бентонит огланлинский	1	—
Пегматит чупинский	15	19
Полевой шпат булакский	4,5	8
Кварцевый песок глуховецкий	25,5	—
Доломит	0,5	13
Глинозем технический	2,0	2,5
Бой фарфоровый	5,5	14,5
Кварц чупинский	—	27
Дацитовая порода гусевская	—	10

Пока не устранены некоторые недостатки изделий при однократном обжиге: повышенное количество наколов, растрескивания, склонность к образованию «прыща», бóльшая чувствительность изделий к колебаниям температуры при обжиге, немного пониженная прочность изделия. Белизна изделий однократного обжига на 1—2% ниже, чем двукратного обжига, но этот недостаток устраняется изменением режима обжига.

Однократный обжиг позволяет получить значительную экономию благодаря упразднению ряда операций, связанных с утельным обжигом, а также вследствие экономии производственных площадей.

ГЛАВА VI

ОБРАБОТКА СЫРЬЯ, ПРИГОТОВЛЕНИЕ МАССЫ И ГЛАЗУРИ

В производстве фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий до сих пор преобладают традиционные методы подготовки исходных сырьевых материалов.

В зависимости от способа формования изделий масса готовится в виде теста с содержанием 18—25% воды или текучей смеси — шликера.

Большая часть изделий формуется из пластичных масс, что определило выбор технологии в массоприготовительном цехе.

В последние годы найдены механизированные способы формования изделий методом литья, что способствует более широкому распространению этого метода и увеличению выработки шликера.

Ведутся также поиски других способов формования изделий, и, в частности, из порошковых масс. Успешное завершение этих работ приведет к значительному упрощению и удешевлению технологического процесса получения керамических масс.

Массы, используемые в производстве керамических изделий бытового назначения, должны отличаться исключительно равномерным распределением всех твердых и жидких компонентов по всему объему. Колебание состава массы вызывает изменение ее свойств на различных участках одного изделия, что приводит к появлению неравномерных напряжений при сушке и обжиге изделия, и, как следствие, разрушает его или искажает форму.

Изделия бытового назначения должны быть изготовлены из массы, отличающейся наименьшим содержанием примесей, влияющих на их внешний вид. К таким примесям относятся минералы, химические соединения некоторых металлов и частицы самих металлов, которые в процессе обжига окрашивают изделие в неприятный цвет или образуют пятна. Эти дефекты могут возникнуть из-за недоброкачественного сырья и загрязнения массы частицами железа при ее приготовлении.

Завершается подготовка массы удалением содержащегося в ней воздуха, что значительно улучшает ее формовочные свойства, а также повышает механическую прочность полуфабриката и готовых изделий.

В производственных условиях необходимо обеспечить приготовление массы по одному хорошо проверенному рецепту, так как изменение состава массы затрудняет проведение последующих технологических операций.

Сырье для производства тонкокерамических изделий поставляют на завод или в виде порошков, не требующих среднего дробления и отсортировки, или крупными кусками, которые необходимо рассортировать и измельчить. Во втором случае приходится строить большие склады, оснащать массоприготовительные цехи громоздким энергоемким оборудованием. Большой ассортимент сырья при сравнительно незначительных количествах каждого вида не позволяет создать экономичные помольно-обогатительные установки для его обработки непосредственно на заводе-потребителе.

На крупном помольно-обогатительном предприятии сырье для производства тонкой керамики обрабатывают по следующей схеме: первичная сортировка, грубое дробление, среднее дробление, грубый и средний помол, тонкий помол.

В зависимости от качества исходного материала и требований к конечному продукту должно быть предусмотрено оборудование, обеспечивающее выход продукта с заданными стабильными свойствами.

1. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ ОТОЩАЮЩИХ (КАМЕНИСТЫХ) МАТЕРИАЛОВ

Успешное протекание физико-химических реакций при обжиге тонкокерамических изделий, в результате которых материал приобретает все необходимые свойства, возможно только в случае достаточно тонкого зернового состава масс, из которых эти изделия изготовлены. Измельчая материал, необходимо обеспечить зерновой состав, при котором достигается максимально плотная укладка всех компонентов массы. Наибольшая плотность достигается, когда промежутки между касающимися друг друга крупными частицами отощающих материалов заполнены более тонкими частицами этих же материалов и глинистыми компонентами.

Как показали исследования, с повышением тонины помола отощающих материалов температура обжига фарфора и фаянса снижается, а интервал спекания расширяется [1].

Измельчение сырья занимает в технологии керамики значительную часть всего процесса. В зависимости от размеров кусков исходного и конечного продукта измельчение приближенно делится на несколько стадий.

Для крупного и среднего измельчения каменистых материалов применяются щековые и конусные дробилки. Для мелкого дробления в производстве тонкой керамики применяют бегуны с гранитными катками и подом. Они не загрязняют сырье металлическим железом, однако имеют низкую производительность, энергоемки и трудны в обслуживании.

При тонком помоле большого количества каменистых материалов используются непрерывно действующие установки, состоящие из

шаровой мельницы и устройств для непрерывной подачи материала и вывода измельченного продукта.

В условиях завода тонкой керамики наибольшее распространение получил мокрый помол каменистых материалов в шаровых мельницах непрерывного и периодического действия.

Непрерывно действующие мельницы еще не получили широкого распространения, несмотря на более высокие технико-экономические показатели. Мельницы периодического действия отличаются простотой конструкции и обслуживания. При необходимости они позволяют вносить уточнение в рецепт массы при каждой загрузке мельницы. При снабжении заводов сырьем постоянного состава непрерывное измельчение компонентов массы будет находить все более широкое применение.

Стремясь улучшить технико-экономические показатели шаровых мельниц, машиностроительные предприятия увеличивают их размеры. Фирма «Дорст» (ФРГ) предлагает шаровые мельницы с полезным объемом 32 $м^3$. В них можно загружать до 16 т измельчаемого материала, что в 4 раза превышает загрузку наиболее распространенных на керамических заводах мельниц.

Таблица VI.1

Основные характеристики шаровых мельниц периодического действия

Показатель	Тип к, ТМ, 8	Тип ТМ NP				
		10	11	17	19	24
Объем футерованного барабана, л	200	500	1300	3420	4400	8200
Масса измельчаемого материала, кг	100	250	650	1700	2200	4100
Масса мелющих тел, кг	100	250	650	1700	2200	4100
Масса футеровки, кг	280	445	1100	2115	2890	4350
Потребляемая мощность, кВт	1,5	2,0	3,8	8,0	10,0	14,0

В табл. VI.1 даны основные сведения о шаровых мельницах периодического действия. Следует учесть, что масса загрузки будет меняться в зависимости от принятого соотношения между мелющими телами и измельчаемым материалом.

Шаровая мельница периодического действия состоит из барабана, торцы которого закрыты плоскими или выпуклыми днищами. Внутренняя полость барабана выложена защитным слоем из фарфоровых или кремниевых брусков толщиной 60—90 мм. К наружной части днищ приварены стальные цапфы, которые входят в гнезда подшипников качения.

Привод мельницы состоит из электродвигателя и редуктора. Крупные мельницы имеют фланцевые электродвигатели и редукторы с планетарным механизмом, благодаря которому пуск их осуществляется без толчков и имеется возможность останавливать барабан в любом положении.

Проблема пускового момента, когда двигатель мельницы испытывает большие перегрузки, особенно остро встает для мельниц большого размера. Для снижения пускового момента на некоторых мельницах устанавливают дополнительный асинхронный двигатель, мощность которого около 10% от мощности основного двигателя, и дополнительную муфту сцепления.

С помощью этого устройства частота вращения при пуске и останове барабана снижается до 0,016 $с^{-1}$ (1 об/мин).

Загружают и выгружают мельницу через люк. На противоположной от люка части барабана устанавливается штуцер для свободного доступа воздуха или подсоединения шланга, по которому в мельницу подается сжатый воздух, что значительно сокращает время разгрузки. Для контроля за временем помола на мельнице должен быть установлен счетчик оборотов.

Шаровые мельницы — одно из самых энергоемких видов оборудования, применяемого в производстве керамических изделий. Улучшение технико-экономической эффективности их работы существенно повлияет на экономические показатели всего предприятия.

Эффективность работы мельниц прежде всего зависит от правильного выбора частоты вращения ее барабана и степени заполнения, а также от подготовки измельчаемого материала и качества мелющих тел и футеровки.

Частота вращения, при которой прекращается падение шаров и измельчение материала, называется критической. За оптимальную частоту вращения барабана мельницы принимается такая частота, при которой наибольшее количество шаров будет падать с самой высокой точки. При этом условии шары будут совершать наибольшую работу. Для определения этой скорости выведена формула, которая учитывает коэффициент загрузки мельницы:

$$n = \frac{2}{15\sqrt{2R_\delta}}(5\varphi + 2),$$

где n — частота вращения барабана мельницы, $с^{-1}$;
R_δ — радиус внутренней полости барабана, м;
φ — коэффициент загрузки.

Принятая для определения частоты вращения барабана мельницы формула $n = \frac{32}{\sqrt{2R_\delta}}$ является частным случаем приведенной формулы и получается из нее при $\varphi = 0,4$ и определяет частоту вращения барабана.

Принято считать, что дробящая загрузка мельницы производит максимальную работу при $\varphi = 0,45-0,4$.

Количество материала, загружаемого в мельницу, должно быть на 15—20% больше, чем необходимо для заполнения пустот между шарами. При меньшей загрузке часть работы шаров будет направлена на истирание друг друга.

На 1 $м^3$ объема мельницы необходимо загрузить:
дробящих тел $1 \cdot 0,45 = 0,45$ $м^3$,
измельчаемого материала $0,45 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 0,22$ $м^3$,

где 0,45 — объем шаров;

0,4 — коэффициент, учитывающий объем пустот;

1,2 — коэффициент, учитывающий необходимое увеличение объема измельчаемого материала.

Зная объем загрузки, определяем ее массу по формуле $G = V\rho$, где G — масса; ρ — насыпная плотность материала.

Для кремневой гальки $G = 0{,}45 \cdot 1550 = 700$ кг.

Для кварцевого песка $G = 0{,}22 \cdot 2000 = 440$ кг.

Объем твердой части загрузки примерно равен 0,5 м³. Часть воды, заливаемой в мельницу при помоле, заполнит пустоты в песке. Этот объем равен: $0{,}22 \cdot 0{,}4 = 0{,}1$ м³, где 0,4 — коэффициент, учитывающий объем пустот в песке.

Для получения влажности суспензии, равной 50% на 440 кг измельчаемого материала, требуется 0,44 м³ воды. Объем полной загрузки равен: $0{,}5 + 0{,}44 - 0{,}1 = 0{,}84$ м³.

Очевидно, что при загрузке других компонентов, как, например, мелющих тел из фарфора или высокоглиноземистых материалов типа уралит, а также измельчаемого материала с другой насыпной плотностью должно измениться и соотношение масс компонентов загрузки.

Приводим насыпную плотность некоторых сыпучих и кусковых материалов

	Насыпная плотность, кг/м³
Гипс дробленый	450—1600
Галька кремневая	1400—1700
Глина	1800—2000
Кварц дробленый	1450—1600
Мел	2500
Песок мелкий сухой	1400—1650
Песок мелкий влажный	1900—2050
Песок крупный	1400—1900
Полевой шпат в кусках	2650
Полевой шпат в порошке	1200
Уралитовые цилиндры	1700—1900

Расчеты показывают, что сведения о загрузке мельниц, приведенные в технических характеристиках машиностроительными фирмами, неточны. В частности, принятое соотношение шары—сырье—вода, равное 1 : 1 : 1, заменяется более рациональным 1,5 : 1 : 1 («Технологическая инструкция по производству фарфоровой хозяйственной посуды»).

Мелющие тела, иногда называемые просто шарами, оказывают существенное влияние на производительность мельниц. При слишком крупных шарах сокращается их количество в загрузке, а также сокращается истирающая поверхность, в результате снижается производительность мельницы. Известно, что в 1 т дробящей загрузки содержится 730 кремневых шаров диаметром 10 см или 90 тыс. шаров диаметром 2 см. Поверхность мелких шаров в этом случае будет в 25 раз больше, чем у крупных. Очевидно, что чем больше шаров, тем больше ударов произойдет за один оборот мельницы при одном и том же расходе энергии.

Сила удара шаров будет зависеть и от высоты их падения. Поэтому в шаровой мельнице большого диаметра шары обладают большей энергией. Отсюда целесообразно применять более мелкие шары. Очевидно также, что шары, изготовленные из материала с большой плотностью, будут обладать большей энергией. Для повышения эффективности работы мельниц особенно важно не допускать загрузки измельчаемого материала кусками выше критического размера. Все материалы перед загрузкой должны просеиваться через сито № 1, 2 (36 отв./см²).

В качестве мелющих тел применяют природную кремневую гальку или специально изготовленные тела из высокоглиноземистой массы (уралит), циркониевые, фарфоровые и т. д.

Кремневая галька должна удовлетворять следующим техническим требованиям:

1. Иметь однородную структуру с раковистым изломом. Инородные включения и слоистость не допускаются.

2. После обжига (огневой пробы) до температуры 1300—1350° С цвет гальки в изломе должен быть белым. Допускаются оттенки сероватый, кремовый и желтоватый, а также более желтые поверхностные налеты толщиной до 1 мм, устраняемые при обжиге гальки. Железистые включения и прослойки не допускаются.

3. Форма гальки должна быть шаровидной, овальной или неправильной, но без острых углов и граней, а также без впадин на поверхности.

4. Размеры шаровидной гальки по диаметру должны находиться в пределах 30 | 70 мм.

5. Твердость кремневой гальки не должна быть ниже 7 по шкале твердости.

Уралитовые шары обладают высокой плотностью (2,95—3,1 г/см³), большой твердостью и механической прочностью, низким коэффициентом истираемости и отличаются высоким абразивным действием. Высококачественные уралитовые шары повышают производительность шаровых мельниц на 30—50%, очень медленно изнашиваются и поэтому почти не дают намола (не засоряют массу).

Искусственные мелющие тела обладают еще одним важным преимуществом: они могут быть изготовлены определенной величины и формы. Цилиндрическая поверхность обладает большей поверхностью по сравнению с шаровой. Поэтому помол истиранием будет более интенсивным при цилиндрических мелющих телах.

Недостатком уралитовых цилиндров являются острые края, которые быстро откалываются и засоряют массу. Поэтому их необходимо, как и кремневые шары, предварительно окатывать в мельнице с песком.

Для помола керамических материалов начинают применяться шары и из других материалов. Их твердость достигает 9 по шкале Мооса и плотность 3,4.

Для защиты корпуса барабана от истирания и предохранения сырьевых материалов от засорения частицами железа внутренняя полость мельницы футеруется брусками из кремня, фарфора, стеа-

тита или из высокоглиноземистых материалов типа уралита. Искусственные материалы предпочтительнее, так как они обладают высокой прочностью и стойкостью к истиранию. Бруски из искусственных материалов изготавливают различной формы, рассчитанной на футеровку различных участков барабана. Толщина футеровки сокращается, что приводит к увеличению полезной емкости мельницы, а следовательно, увеличивается производительность, сокращается расход электроэнергии.

После ремонта футеровки внутренняя поверхность мельницы очищается от цемента песком с добавлением воды. С этой загрузкой мельница работает 24 ч, после чего промывается водой.

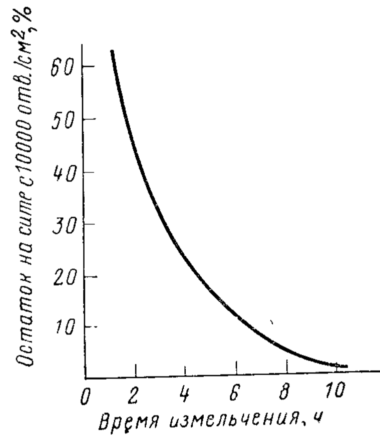


Рис. VI.1. График измельчения кварцевого песка в шаровой мельнице периодического действия

На тонкий помол в шаровых мельницах расходуется много электроэнергии. Большая часть энергии расходуется на износ шаров и корпуса мельницы, нагрев металла и т. п. Только около 15% энергии совершает полезную работу измельчения. Сокращение времени помола — один из основных путей повышения экономичности процесса измельчения. Ранее были рассмотрены некоторые факторы, влияющие на продолжительность этого процесса. Рассмотрим влияние крупности загружаемого материала. На рис. VI.1 показан график измельчения кварцевого песка с небольшой добавкой пегматита, фаянсового боя и глины.

Как видно из рисунка, вначале процесс идет очень быстро. После трех часов помола более 80% материала проходит через контрольные сита с 10000 отв. см². Очевидно, что в шаровой мельнице хорошо измельчаются материалы с начальной крупностью 1—2 мм. Измельчение более крупных и прочных частиц затягивается, так как мелкие шары не могут их разбить. Поэтому особенно важно каменистые материалы перед загрузкой в шаровую мельницу просеивать через сито № 1,2 (36 отв. см²).

Установлено, что при увеличении загрузки шаров время помола сокращается. Однако при полностью загруженной мельнице увеличивать загрузку шаров можно только за счет измельчаемого материала. Поэтому оптимальное соотношение находится опытным путем.

На продолжительность помола влияет влажность суспензии. При увеличении влажности продолжительность помола возрастает. Если суспензия становится слишком густой, то движение шаров в ней замедляется, процесс измельчения прекращается. Рекомендуемая для фарфоровых и фаянсовых масс влажность суспензии каменистых материалов, равная 50%, должна быть уточнена с учетом конкретного рецепта загрузки в шаровую мельницу. Количество заливаемой воды в шаровую мельницу контролируется водомером, мерным баком или другим способом с точностью до 1%.

Для ускорения измельчения твердых материалов при мокром помоле в мельницы добавляют поверхностно-активные вещества, например 0,5—1% концентрата сульфитно-спиртовой барды, триэтиноламина, лейканола и др.

По Б. В. Дерягину и П. А. Ребиндеру, ускорение помола в присутствии воды и поверхностно-активных добавок объясняется их расклинивающим действием в микротрещинах кристаллов.

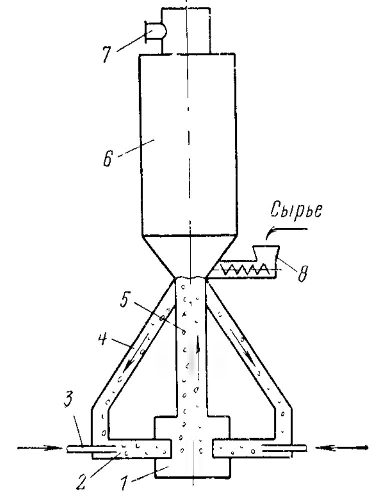


Рис. VI.2. Схема струйной мельницы

В последние годы ведутся поиски более эффективных способов измельчения каменистых материалов. Обнадеживающие результаты в производстве тонкой керамики на основе чистых окислов показали струйные мельницы (рис. VI.2).

Измельчитель состоит из размольной камеры *1*, в которую с противоположных концов входят разгонные трубы *2*. К трубам присоединяют рукава *4*, по которым поступает материал, подлежащий измельчению. По осям труб *2* размещены рукава *3*, через которые подается энергоноситель — газ, пар или воздух. Энергоноситель увлекает частицы материала и, разогнав их до скорости около 800 м/с, попадает в размольную камеру. При столкновении встречных потоков от удара частиц друг о друга происходит их измельчение. Измельченный материал из размольной камеры выносится потоком через трубу *5* в специальный сепаратор *6*, где происходит разделение его на две фракции. Крупная фракция оседает на дно сепаратора, по рукавам *3* спускается к разгонным трубкам и снова попадает в камеру *1* на доизмельчение. Готовый продукт выводится через штуцер *7* в аппарат для выделения ее из потока газов. Исходный материал питателем *8* подается в нижнюю часть сепаратора и по рукавам *3* направляется к разгонным трубкам.

Струйный метод измельчения имеет два основных преимущества по сравнению с мельницами непрерывного действия: 1) узкие пределы распределения частиц по размерам, 2) минимум загрязнения измельченного продукта.

Основным недостатком струйных мельниц, выпускаемых в Советском Союзе и за рубежом, является высокая в сравнении с шаровыми мельницами энергоемкость.

2. ПОДГОТОВКА ПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Глинистые материалы поступают в массоприготовительный цех в виде порошков или комков различного размера. Перед смешиванием с каменистыми материалами глины распускают в воде и полученную суспензию процеживают через сито.

Для роспуска глинистых материалов и для смешивания суспензии глин с каменистыми материалами, а также промежуточного хранения готовой суспензии массы и глазури в фарфоро-фаянсовой промышленности применяют лопастные и пропеллерные мешалки.

Лопастная мешалка перед загрузкой заливается подогретой водой, в которой роспуск глины ускоряется и затем небольшими порциями загружаются глинистые материалы. Продолжительность роспуска 2—3 ч в летнее и 3—4 ч в зимнее время.

На смену малопроизводительным лопастным мешалкам пришли пропеллерные мешалки. Они создают интенсивную циркуляцию жидкости, что обеспечивает быстрый роспуск и смешивание сырьевых материалов.

Основным рабочим органом пропеллерной мешалки является винт, аналогичный по форме корабельному винту. Шаг винта определяют по формуле

$$h = 2\pi r \operatorname{tg} \alpha,$$

где r — радиус окружности, образуемой вращающейся лопастью,
α — угол наклона лопасти.

Для создания интенсивной циркуляции жидкости во всем объеме мешалки применяют винт с постоянным шагом, т. е. с постепенно уменьшающимся наклоном лопастей (произведение $r \operatorname{tg} \alpha$ должно быть постоянным). Диаметр винта составляет 1/3, 1/4 диаметра резервуара. Для перемешивания керамических суспензий частота вращения винта принимается равной 2,5—6,66 $с^{-1}$. Более быстроходные мешалки используются при роспуске глинистых материалов. Для поддерживания суспензии во взвешенном состоянии и для смешивания применяют мешалки с меньшей частотой вращения.

При определении размера резервуара руководствуются соотношением

$$H = Д:1,5,$$

где H — высота резервуара, мм;
$Д$ — диаметр резервуара, мм.

Резервуар должен иметь в верхней части форму многоугольной призмы, а у дна — усеченной пирамиды, или иметь перегородку, которая препятствует вращению жидкости вслед за винтом. Для защиты от истирания винт иногда покрывают резиной, а вал хромируют.

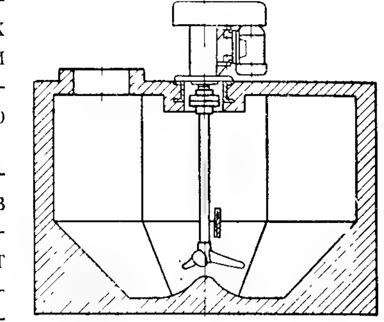
На дне резервуара делают выступ, как это показано на рис. VI.3, что улучшает циркуляцию суспензии, так как отклоняет струи от прямого удара в дно, при котором теряется часть энергии.

Некоторые технические характеристики винтовых мешалок приведены в табл. VI.2.

Пропеллерные мешалки загружают одновременно подогретой до 50—60° С водой на 3/4 объема и глинистыми материалами в виде стружки или комков размером не более 20 мм.

Количество воды определяют опытным путем. Оно зависит от пластичности глины. Для роспуска каолина достаточна влажность 55—60%, для более жирных глин — до 75%.

Мешалки-сборники предназначены для хранения суспензий массы и глазури. Сборник, из которого суспензия накачивается в фильтр-прессы, должен иметь объем, достаточный для одного цикла работы всех фильтр-прессов. При несоблюдении этого условия трудно получить достаточно однородную пластичную массу.


Рис. VI.3. Схема пропеллерной мешалки

Поиски экономичных способов диспергирования глинистых материалов привели к созданию мешалок, в которых роспуск материалов происходит быстрее и с меньшими затратами энергии. В них можно одновременно измельчать крупные куски глины и диспергировать до рабочего состояния. Особенно пригодными оказались эти мешалки для обработки очень пластичных глин, а также приготовления глинистых суспензий и шликеров с низким содержанием воды.

Таблица VI.2

Технические характеристики мешалок

Показатель	K/RS 315	K/RS 500	K/RS 710	K/RS 1000	MVP 500	MVP 630	MVP 750	RVP 500	RVP 630	RVP 750
Объем резервуара, $м^3$	1	4	12,5	32	3,5	4,8	12	3,5	4,8	12
Диаметр резервуара, мм	1200	2000	2800	4000	2000	2300	3000	2000	2300	3000
Высота резервуара, мм	900	1600	2000	2500	1750	1950	2250	1750	1950	2280
Диаметр пропеллера, мм	315	500	710	1000	500	630	750	500	630	750
Частота вращения пропеллера, $с^{-1}$:										
при перемешивании (исполнение *а*)	3,33	3,33	2,66	1.66	2,9	2,73	2,73	—	—	—
при роспуске (исполнение *в*)	6,66	5,33	5,33	3.33	—	—	—	6,5	5,4	5,33
Мощность электродвигателя, кВт:										
исполнение *а*	0,8	5,5	1,5	10	5,5	7,5	7,5	—	—	—
исполнение *в*	1,5	7,5	13	20	—	—	—	7,5	7,5	11
Масса без резервуара, кг	210	430	1140	2100	465	610	630	—	—	575

Устройство дисковых быстроходных мешалок отличается от пропеллерных тем, что на конце рабочего вала имеется ротор особой конструкции, который при вращении создает поток жидкости и одновременно разбивает крупные куски глины. На рис. VI.4 показана схема быстроходной мешалки французской фирмы «Фор». На рис. VI.5 изображена схема турбодиспергатора фирмы «Нетч» (ФРГ).

Техническая характеристика мешалок этих типов приведена в табл. VI.3.

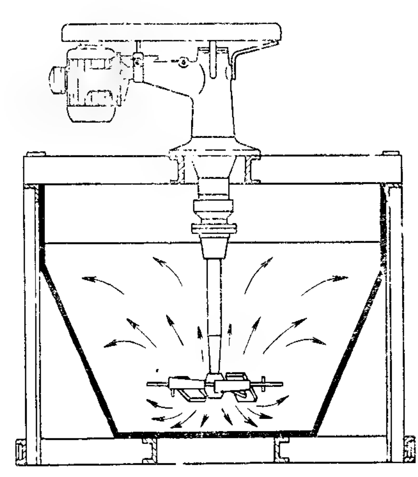


Рис. VI.4. Схема мешалки фирмы «Фор»

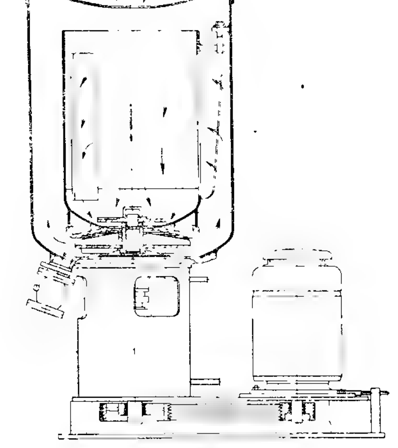


Рис. VI.5. Схема турбодиспергатора фирмы «Нетч»

В Советском Союзе разработаны и испытаны машины для роспуска глинистых материалов [2]. Наиболее пригодными признаны разработанные в Воронежском инженерно-строительном институте фрезерно-метательные мельницы ФММ-9 и ФММ-10 (рис. VI.6.) Работающая на Минском комбинате строительных материалов установка

Таблица VI.3

Техническая характеристика быстроходных мешалок

Показатель	Мешалки фирмы «Фор»				Турбодиспергатор фирмы «Нетч»			
	Т.75	Т.76	Т.77	Т.78	V	I	VII	VIII
Полезный объем, л	500	1500	3000	5000	1000	2500	5000	8000
Диаметр ротора, мм	400	665	1000	1330				
Частота вращения, c^{-1}	6,66	5	5	3,33	—	—	—	—
Мощность двигателя, кВт	4	10	20	30	40	100	220	270
Габарит, мм:								
ширина	—	—	—	—	1250	1600	2000	2400
длина	—	—	—	—	1065	2400	2900	3400
высота	—	—	—	—	2160	2900	3500	4200

состоит из следующего технологического оборудования: стругача, транспортера для подачи дробленой глины в загрузочный бункер, ленточного питателя для подачи глины из бункера в загрузочную воронку машины, мельницы ФММ-10, двух емкостей с пропеллерными мешалками емкостью по 10 м³, центробежных грязевых насосов 5 ГРК-8 для циркуляции шликера и перекачки глинистой суспензии в смесительный бассейн через вибросита.

Перед началом работы в одну из емкостей с мешалкой заливают по расходомеру воду и электролиты. Из емкости вода с электролитами подается насосом по трубопроводу во фрезерно-метательную

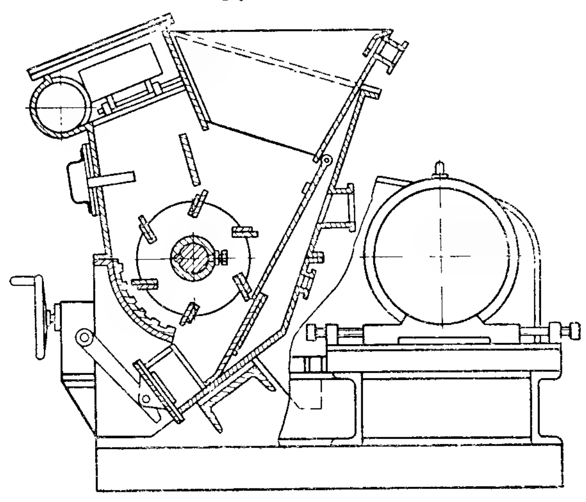


Рис. VI.6. Схема фрезерно-метательной мельницы ФММ-10

мельницу. Туда же питателем подается глина, куски которой не превышают 200 мм. Глина подхватывается лопастями-фрезами и измельчается, затем, проходя над рифленой плитой, разбивается на более мелкие частицы. Суспензия через решетку с отверстиями диаметром 14—16 мм отводится из камеры мельницы по лотку в емкость. Суспензия циркулирует по всей системе до необходимой концентрации шликера.

Для полного измельчения глинистых частиц циркуляция суспензии продолжается после подачи глины в течение 10—15 мин. Камни и другие посторонние включения оседают в ловушке мельницы, откуда периодически удаляются. Беспрерывную работу мельницы создают две емкости с мешалками. Во время насыщения суспензии в одной емкости, другая емкость освобождается от готовой суспензии. Обслуживает установку один рабочий.

Техническая характеристика мельниц

	ФММ-9	ФММ-10
Производительность по сухому материалу, т/ч	6	10—13
Диаметр ротора, мм	450	600

Длина ротора, мм	600	600
Частота вращения ротора, $с^{-1}$	8	9,1
Мощность двигателя, кВт	40	75
Габарит, мм:		
длина	2400	2650
ширина	1920	2600
высота	1740	2030
Масса, т	2,5	3,2

Недостатками технологической линии по роспуску глин с применением ФММ являются быстрый износ ротора мельницы, внутренней футеровки, сальниковых втулок и улиток в насосах.

3. ОБОГАЩЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС И ГЛАЗУРЕЙ

При измельчении материалов не удается сразу получить продукт необходимого гранулометрического состава. Крупные фракции выделяют из керамической массы на ситах различных конструкций. Наибольшее распространение получили вибрационные сита с механическим или электрическим способом передачи вибрации на раму с сеткой. Из сит с механическим способом передачи вибрации чаще применяются инерционные, в которых вибрация просеивающей поверхности происходит под действием сил инерции неуравновешенных вращающихся масс. Для просеивания материалов применяют металлические сита из медной или бронзовой проволоки. Промышленность выпускает различные сетки, и величиной, характеризующей их, является величина отверстия. Имеется несколько шкал размеров ячеек металлических проволочных сит.

По ГОСТ 3584—53 сита выпускаются по номерам, причем номер сита соответствует номинальному размеру стороны отверстия (табл. VI.4).

В США распространена дюймовая шкала сит. В этой системе сито характеризуется числом «меш», что показывает количество отверстий в сите на один линейный дюйм.

Немецкая система сит построена на метрической системе единиц. Номер сита в этой системе соответствует числу отверстий на один линейный сантиметр.

На многих этапах обработки сырья просеивание имеет очень большое значение. Роль этой операции сводится не только к выделению нужной нам фракции, но и к обогащению сырья. При процеживании массы через сито № 0071 (6400 отв./см²) задерживается большинство железистых частиц, дающих после обжига темные точки (мушку) на изделии.

Для выделения нежелательных крупных частиц некоторые фирмы, производящие фарфор высшего качества, процеживают массу через сито № 0,056 (10000 отв. см²).

При транспортировке и переработке сырьевые материалы загрязняются металлом, который отрицательно влияет на качество изделий. Особенно опасны железистые включения, которые могут выделиться при магнитной сепарации.

Таблица VI.4

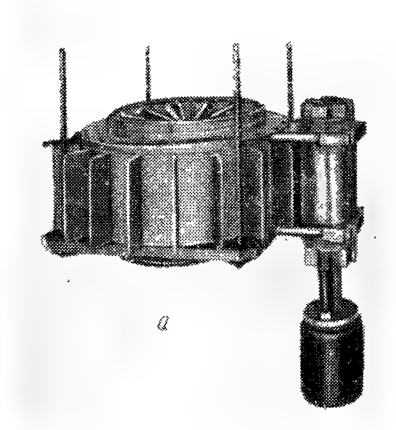
Техническая характеристика проволочных сит

ГОСТ 3584—53			Американская система				Немецкая система			
Номер ткани	Ширина отверстия в свету, мм	Диаметр проволоки, мм	Ширина отверстия в свету: мм	Ширина отверстия в свету: дюймы	Число отверстий на линейный дюйм	Диаметр проволоки, дюйм	Номер ткани	Число отверстий на 1 см²	Ширина отверстия в свету, мм	Диаметр проволоки, мм
2,5	2,5	0,5	2,38	3/32	8	0,032	—	—	—	—
2	2,0	0,5	1,98	5/64	9	0,033	—	—	—	—
1,6	1,6	0,45	1,59	1/16	10	0,035	4	16	1,5	1,0
1,25	1,25	0,4	1,16	3/64	14	0,025	5	25	1,2	0,80
1	1,00	0,35	0,991	—	16	0,0235	6	36	1,02	0,65
0,9	0,9	0,35								
0,8	0,800	0,3	0,79	1/32	20	0,0172	8	64	0,75	0,50
0,7	0,700	0,3	0,701	—	24	0,0141	—	—	—	—
0,63	0,630	0,25					10	100	0,6	0,4
0,56	0,560	0,23	0,589	—	28	0,0125	11	121	0,54	0,37
0,5	0,500	0,22	0,495	—	32	0,0118	12	144	0,49	0,34
0,45	0,450	0,18					14	196	0,43	0,28
0,4	0,400	0,15	0,4	1/64	35	0,0122	16	256	0,385	0,24
0,355	0,355	0,15	0,351	—	41	0,01	—	—	—	—
0,315	0,315	0,14					20	400	0,3	0,3
0,28	0,280	0,14	0,295	—	48	0,0092	—	—	—	—
0,25	0,250	0,13	0,246	—	60	0,007	—	—	—	—
0,224	0,224	0,13					24	576	0,25	0,17
0,2	0,200	0,13	0,208	—	65	0,0072	30	900	0,2	0,13
0,18	0,180	0,13	0,175	—	80	0,0056				
0,16	0,160	0,12					40	1 600	0,15	0,1
0,14	0,140	0,09	0,147	—	100	0,0042				
0,125	0,125	0,09	0,124	—	115	0,0038	50	250	0,12	0,088
0,112	0,112	0,08								
0,1	0,100	0,07	0,104	—	150	0,0026	60	3 600	0,102	0,065
0,09	0,090	0,07	0,088	—	170	0,0024	70	4 900	0,088	0,055
0,08	0,080	0,055								
0,071	0,071	0,055	0,074	—	200	0,0021	80	6 400	0,075	0,05
0,063	0,063	0,045	0,061	—	250	0,0016				
0,056	0,056	0,04					100	10 000	0,060	0,04
0,05	0,05	0,035	0,053	—	270	0,0016	—	—	—	—
0,045	0,045	0,035	0,043	—	325	0,0014	—	—	—	—
0,04	0,040	0,03								

Магнитная сепарация основана на способности притягиваться к полюсам магнита железосодержащих материалов. По этой способности (магнитной восприимчивости) материалы подразделяются на сильномагнитные, слабомагнитные и немагнитные. Магнитному обогащению керамическое сырье может быть подвергнуто в сухом виде или в виде суспензии.

Сухое магнитное обогащение более эффективно при сепарации крупных металлических включений, которые могут попасть в сырье при небрежной транспортировке. Мелкие металлические включения из порошков удалять очень трудно, так как слой порошка оказывает

сильное сопротивление выходу из него магнитной частицы. Поэтому для магнитного обогащения порошков целесообразно применять сепараторы с вибратором. При вибрации тонкого слоя порошка в магнитном поле создаются условия для свободного выхода магнитных частиц.



На рис. VI.7 показан внешний вид и разрез подвесного электромагнитного вибрационного сепаратора для обогащения порошкообразных материалов. Этот сепаратор подвешивается под бункером с материалом. Масса аппарата около 450 кг; высота вместе с вибратором около 800 мм; мощность 0,6 кВт; производительность от 3,5 до 28 м³/ч. Недостаток этой конструкции — необходимость периодического выключения сепаратора для очистки от извлеченных частиц железа.

Электромагнитное обогащение сухих материалов рекомендуется при-

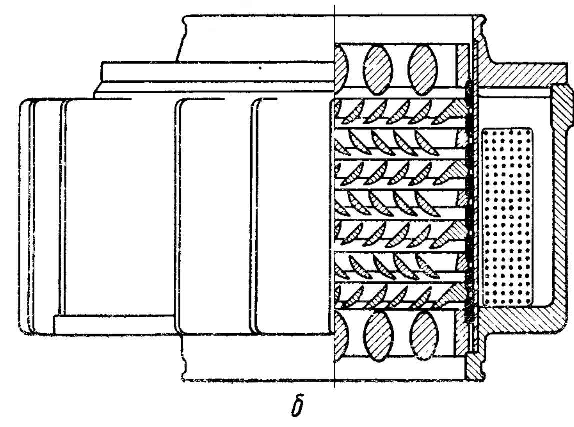


Рис. VI.7. Подвесной электромагнитный вибрационный сепаратор:

а — внешний вид; *б* — разрез

менять с использованием сепараторов непрерывного действия [3], если последующее мокрое электромагнитное обогащение может оказаться недостаточно эффективным, например при производстве фаянсовых глазурей.

Магнитное обогащение керамических суспензий в условиях производства более целесообразно, так как суспензии свободно проходят по минимальным зазорам между полюсами магнитов, что позволяет получить магнитное поле с высоким напряжением. Кроме того, извлечение магнитной частицы тем легче, чем тоньше слой жидкой массы.

Электромагнитный сепаратор лоткового типа ЕО 600-5 (рис. VI.8) состоит из свободно закрепленного в сварной раме лотка, что позволяет изменять угол его наклона. Дно лотка выполнено в виде ступенчатого каскада, по которому тонким слоем стекает суспензия. Под каскадом размещены десять электромагнитов. Для усиления магнитного поля над каскадом расположены откидывающиеся чугунные элементы, расстояние которых от каскада можно регулировать. Между каскадом и чугунными элементами образуется лабиринт

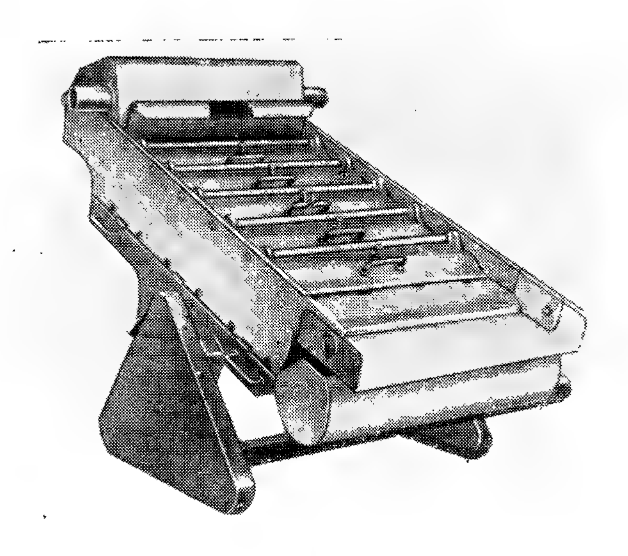


Рис. VI.8. Электромагнитный сепаратор лоткового типа ЕО 600-5

с мощным магнитным полем, протекая по которому суспензия обогащается. В верхней части лотка находится распределитель, который распределяет суспензию равномерно по всей поверхности желоба. В нижней части лотка укреплен опрокидывающийся желоб, который поддерживается в рабочем положении последней парой электромагнитов. При случайном отключении электропитания этот желоб примет вертикальное положение и направит суспензию, в которую в этом случае попадет все скопившееся в лабиринте железо, в сливной желоб и в канализацию.

Техническая характеристика электромагнитного сепаратора ЕО 600-5

Ширина лотка, мм	600
Ширина зазоров, мм	0–20
Наклон лотка, град	10–35
Производительность, л/ч:	
для массы	4500
для глазури	6000
Максимальная температура суспензии, °С	50

Потребляемая мощность переменного тока, кВт	0,8
Потребляемая мощность постоянного тока, кВт	0,45
Масса установки, кг	640

Сложность и несовершенство конструкций электромагнитных сепараторов обусловили поиски других способов очистки сырьевых материалов и суспензий масс и глазурей. На многих заводах создавались установки из постоянных магнитов, которые помещались в лотках с протекающей суспензией.

В последнее время благодаря созданию новых материалов для мощных постоянных магнитов такие установки получили широкое распространение. В Государственном научно-исследовательском институте керамической промышленности (ГИКИ) была разработана конструкция сепаратора ФОЛ-5 со съемным лотком. Каскад из трех аппаратов извлекает до 80% содержащегося в суспензии свободного железа при пропуске около 6 $м^3$/ч суспензии.

Недостатком сепараторов с постоянными магнитами является ручная их очистка. Однако установка небольших постоянных магнитов, например, в ваннах с глазурью, может оказаться эффективной дополнительной мерой по предотвращению «мушки».

4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ МАССЫ

В фарфоро-фаянсовой промышленности пластичную массу получают из шликера, приготовленного путем смешивания смолотых с водой отощающих материалов с глиной и каолином, диспергированных в мешалках.

Дозирование компонентов шихты в керамическом производстве определяют по объему или массе. При производстве тонкокерамических изделий объемная дозировка сыпучих материалов не нашла применения, так как этот способ не обеспечивает необходимой точности из-за непостоянства объемной массы большинства материалов.

Объемная дозировка суспензий нашла широкое применение на многих производствах, в том числе на фарфоровых заводах. Этот способ обеспечивает высокую точность дозировки и легко автоматизируется. На фарфоровом заводе в г. Триптис в ГДР весь поступающий каолин распускают и хранят в резервуаре. Оседание каолина предотвращается подачей в резервуар сжатого воздуха. Объемная дозировка суспензии осуществляется автоматически по рецепту, который задается программирующему устройству.

При дозировании по массе сырье отвешивают на различных весовых устройствах по составленному заводской лабораторией рецепту с учетом влажности материала. Составы и методика расчета масс приведены в главе V.

Наибольшее распространение получили электровесовые тележки ЭВТ-1,5. Они оснащены электроприводом для передвижения по рельсовому пути и бункером, в котором отвешенная доза доставляется к месту разгрузки. Рельсовый путь для передвижения весов проходит под бункерами с сырьем и над шаровыми мельницами. Бункера,

где хранится сырье для взвешивания, оснащаются питателями для равномерной подачи в бункер весов. Для этой цели применяются различные конструкции питателей в зависимости от свойств сырья.

Для подачи сыпучих и мягких материалов применяют шнековые питатели. Они обеспечивают равномерную подачу большинства материалов. Скорость подачи регулируют изменением частоты вращения шнека.

Для подачи мелкокусковых и зернистых материалов применяют лотковый питатель с электровибрационным приводом.

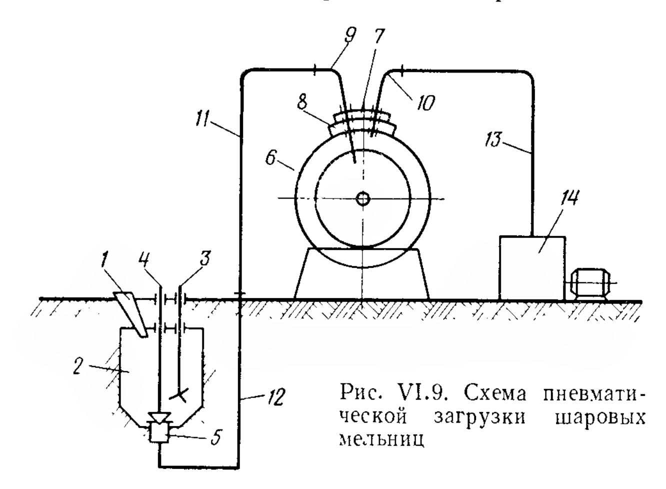


Рис. VI.9. Схема пневматической загрузки шаровых мельниц

Питатель подвешивается под бункер с сырьем на четырех пружинных подвесках. При вибрации лотка материал также начинает вибрировать и приобретать некоторую текучесть. Производительность вибрационного питателя регулируют изменением угла наклона лотка.

На современных керамических заводах для автоматического взвешивания сырья применяются устройства для непрерывного определения массы. Устройства состоят из ленточного транспортера, имеющего датчики массы. Весовой транспортер установлен под бункерами, из которых электровибрационными питателями материалы подаются на весовой транспортер. По достижении заданного количества массы питатель автоматически прекращает подачу материала и включается питатель на другом бункере. Все компоненты шихты взвешиваются по заданной программе в соответствии с рецептом.

Поданные к шаровой мельнице материалы целесообразно помещать в бункер, устроенный над загрузочным люком мельницы, что значительно сократит время ее загрузки, так как взвешивание и доставка всех компонентов загрузки могут быть осуществлены до остановки мельницы. Кроме того, в таком бункере можно заранее приготовить материал для загрузки мельницы в ночное время.

При загрузке шаровых мельниц пневматическим способом (рис.VI.9) по опыту Славянского и Первомайского заводов измельченные каменистые материалы после дозирования загружаются через

течку *1* в мешалку *2*, которая оборудована винтовой мешалкой *3* и запорным вентилем *4*, закрывающим выпускное окно *5*.

Для создания вакуума в шаровой мельнице *6* на загрузочный люк ставят стальную крышку *7* с резиновой прокладкой *8*. В крышку вмонтированы два патрубка — заборный *9* и отсасывающий *10*. Заборный патрубок гофрированным металло-резиновым шлангом *11* соединяется с трубопроводом *12*. Через патрубок *10* и трубопровод *13* шаровая мельница соединяется с вакуум-насосом *14*. При разрежении в шаровой мельнице около 6,4 кПа (64 мм вод. ст.) открывают запорный вентиль *4*, и суспензия каменистых материалов всасывается в нее. За 5 мин в шаровую мельницу подается 4600 кг суспензии.

Кроме получения жидких масс из раздельно диспергированных отощающих и пластичных материалов на некоторых заводах применяется совместный их помол в шаровых мельницах.

При изготовлении шликера для отливки изделий с невысокой влажностью совместный помол выполняется в две стадии. Сначала размалываются отощающие материалы до заданной дисперсности, затем в мельницу добавляют глины и каолины с расчетным количеством электролитов для обеспечения надлежащей текучести шликера. После домалывания отощающих материалов и роспуска глин шликер сливают в резервные емкости, оборудованные мешалками.

Пластичные массы широко используют в производстве тонкокерамических изделий. В зависимости от состава массы, способа формования (формующим роликом или плоским шаблоном) применяются массы с влажностью 18—27%. Для получения такой массы из суспензии с влажностью 55—60% необходимо удалить избыток воды. При частичном обезвоживании наибольшее распространение получил способ фильтрации через тканевые фильтры под избыточным давлением на фильтруемую жидкость.

При фильтрации жидкая фаза, протекая сквозь фильтрующую перегородку, преодолевает гидравлическое сопротивление. Однако величина пор фильтрующей перегородки и ее сопротивление имеют значение только в начале процесса. В дальнейшем на поверхности фильтрующей перегородки отлагается слой осадка, который играет основную роль в последующем процессе, оказывая все возрастающее сопротивление протекающей жидкости и задерживая твердые частицы. Поэтому характер осадка и его толщина являются в большинстве случаев основными факторами, определяющими производительность фильтра и расход энергии на процесс.

В керамической промышленности в качестве фильтрующей перегородки при частичном обезвоживании массы применяют хлопчатобумажную или синтетическую ткань. Эти ткани в начале процесса фильтрации пропускают значительное количество тонких частиц массы и только после образования слоя осадка, который имеет поры значительно меньших размеров, чем поры ткани, вытекающая из фильтра жидкость светлеет.

Керамические массы образуют осадок, оказывающий значительное сопротивление протекающей жидкости, и это сопротивление тем выше, чем больше тонких частиц в массе. Поэтому скорость

фильтрации фаянсовых масс с большим содержанием пластичных глин в 2—3 раза ниже, чем у фарфоровых масс.

Для каждой массы существуют свои оптимальные условия фильтрации. У жирной фаянсовой массы при толщине коржа около 20 мм процесс фильтрации практически прекращается. У фарфоровой массы этот момент наступает при толщине коржа 35 мм.

На скорость фильтр-прессования и на качество получаемого осадка массы большое влияние оказывает режим давления.

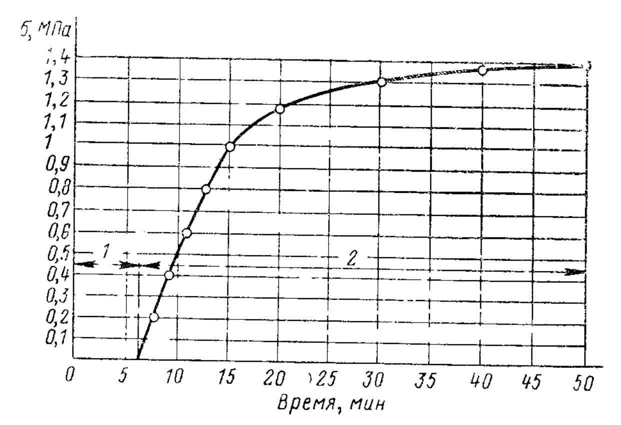


Рис. VI.10. График подъема давления прессования:
1 — заполнение; *2* — прессование

Скорость фильтрации зависит также от вязкости жидкости [4]. Как известно, с увеличением температуры воды ее вязкость уменьшается и, следовательно, увеличивается скорость протекания ее через осадок.

Вязкость воды при 20° С 0,010 пз, при 55° С только 0,005 пз. При дальнейшем увеличении температуры вязкость воды уменьшается незначительно.

При увеличении толщины слоя возрастает гидравлическое сопротивление току жидкости и возникает необходимость повышения давления фильтрации. Однако при этом осадок массы сжимается, что приводит к уменьшению величины пор и резкому увеличению сопротивления току жидкости. Вот почему важно не допускать резкого скачкообразного подъема давления фильтр-прессования. Кроме замедления процесса скачкообразный подъем давления приводит к неоднородности массы, так как внутренние слои осадка получаются более влажными. Такое же явление происходит при подаче массы толчками, например, при плохой работе поршневых насосов. Постоянные толчки не только сжимают осадок, но и способствуют забиванию пор осадка самыми тонкими частицами массы, что еще больше увеличивает гидравлическое сопротивление.

На рис. VI.10 показан график подъема давления прессования для тощей фарфоровой массы при толщине коржа 30 мм. Для более

пластичной фаянсовой массы время прессования увеличивают до 2,5—3 ч. В этом случае подъем давления происходит медленнее.

Для накачивания суспензии в фильтр-пресс, а также для транспортирования ее, в керамической промышленности применяют несколько типов насосов. Широкое распространение получили поршневые насосы, в которых поршень, или плунжер, отделен от перекачиваемой жидкости эластичной перегородкой-мембраной из мягкой резины.

Краткая техническая характеристика некоторых мембранных насосов приведена в табл. VI.5.

Таблица VI.5

Техническая характеристика мембранных насосов

Показатель	Модель насоса			
	2MGД 6,3/16	2MGД-7,1/20	2MGД-7,5/16	2MGД-9/14
Производительность, м³/ч	6,3	7,1	7,5	9
Максимальное рабочее давление, МПа (кгс/см²)	1,6 (16)	2,0 (20)	1,6 (16)	1,4 (14)
Мощность электродвигателя, кВт	7,5	7,5	7,5	7,5
Масса, кг	1600	1600	1600	1600

Насосы 2MGД-7,5/16 и 2MGД-7,1/20 имеют два поршня разного диаметра. При достижении давления 1 МПа больший поршень отключается, продолжает работать меньший поршень, который развивает максимальное давление при меньшей производительности.

Надежность работы насоса зависит от высоты всасывания перекачиваемой жидкости. Достижимая высота всасывания у поршневых насосов ограничена и может быть определена по уравнению:

$$H \leqslant \frac{P_а}{\gamma} - \frac{P_ж}{\gamma} - h_{п_1} - h_{и_1},$$

где H — высота всасывания;
$P_а$ — атмосферное давление;
$P_ж$ — давление паров жидкости;
γ — плотность жидкости;
$h_{п_1}$ — потеря напора на преодоление гидравлического сопротивления во всасывающем трубопроводе;
$h_{и_1}$ — потеря напора на преодоление сил инерции во всасывающем трубопроводе.

Из приведенного уравнения видно, что высота всасывания зависит от атмосферного давления, потерь напора на преодоление сопротивлений во всасывающем трубопроводе и от упругости паров жидкости. Последняя величина характеризует склонность жидкости к выделению растворенного в ней воздуха и парообразованию. При некотором разрежении внутри жидкости происходит как бы вскипание, отрыв жидкости, и насос прекращает работу.

Учитывая, что плотность и вязкость керамических суспензий больше воды и сопротивление в трубопроводах вследствие этого гораздо выше, чем у воды, высота всасывания поршневых насосов редко достигает 1,5 м.

При установке насосов необходимо соблюдать следующие условия.

1. Устанавливать насосы как можно ближе к точке всасывания.

2. Не присоединять несколько насосов к одной всасывающей трубе, так как при одновременной их работе такты всасывания могут совпасть, что приведет к отрыву жидкости.

3. Учитывая, что сопротивление трубопровода прямо пропорционально квадрату скорости протекающей жидкости, необходимо всасывающий трубопровод делать из труб увеличенного диаметра.

В последние годы в керамической промышленности начали применяться плунжерные насосы без мембраны, изолирующей плунжер от перекачиваемой среды. Для уменьшения износа плунжер изготовлен из твердого фарфора и уплотнен специальным сальником.

Насос регулируется автоматически, причем с растущим давлением сокращается число рабочих ходов насоса и тем самым уменьшается подача. Этот метод регулирования особенно необходим при накачке фильтр-прессов, так как обеспечивает оптимальные условия фильтрации массы. Для фильтр-прессования ценно также то, что вследствие замедления хода плунжера при достижении заданного давления уменьшается пульсация массы.

Плунжерные насосы изготавливаются различной производительности, достигающей у некоторых моделей 45 м³ при рабочем давлении до 2,5 МПа (25 атм).

Поршневые и плунжерные насосы нецелесообразно применять в случаях, когда не требуется создание высокого давления. Для перекачки суспензий, а также для заполнения фильтр-прессов и нагнетания при невысоких давлениях целесообразнее использовать специальные винтовые (героторные) насосы, которые отличаются от поршневых и плунжерных меньшими размерами, высокой производительностью и экономичностью.

Основными деталями насоса являются однозаходный винт *1* (рис. VI.11) и резиновая обойма *2*, внутренняя полость которой представляет собой двухзаходную винтовую поверхность с шагом в два раза большим, чем шаг винта. При вращении винта между ним и обоймой образуются свободные полости, куда засасывается перекачиваемая жидкость, которая при последующем вращении винта перемещается вдоль оси винта к полости нагнетания. При этом во всасывающей стороне создается вакуум, обеспечивающий всасывание жидкости через патрубок *3*.

Характеристика винтовых перекачивающих насосов отечественного производства приведена в табл. VI.6.

Самым распространенным в настоящее время аппаратом для фильтрации керамической суспензии является камерный фильтр-пресс периодического действия. Рамы его своими ручками опираются на горизонтальные направляющие, укрепленные в массивной станине. При помощи гидравлического затвора плиты плотно сдвига-

ются, образуя ряд камер, соединенных центральным каналом, по которому подается в камеры фильтруемая суспензия.

Плиты фильтр-пресса — круглые или прямоугольные, изготавливаются из чугуна или силумина. Квадратные плиты лучше используют поверхность полотен и обеспечивают большую производительность при одинаковых размерах пресса. Однако круглые плиты позволяют получать массу более равномерную по составу.

Характеристики некоторых фильтр-прессов приводятся в табл. VI.7. Модель K FPRY производства фирмы «Тюрингия» (ГДР), полуавтоматический пресс LFP и автоматический пресс LFAK выпускаются в ЧССР.

При фильтрации керамических суспензий большое значение имеет качество полотна. Полотно должно быть достаточно прочным, чтобы выдержать давление фильтрации, и плотным, чтобы не пропускать большое количество тонких частиц массы в начальный период процесса. Наиболее приемлемыми являются ткани из синтетических материалов (капроновые, нейлоновые и др.), легко очищающиеся от забивающей поры массы.

Через 50—60 циклов полотна необходимо снимать с фильтр-пресса и промывать, так как загрязненное полотно оказывает большое сопротивление току жидкости

Рис. VI.11. Схема винтового (героторного) насоса

Таблица VI.6

Техническая характеристика винтовых перекачивающих насосов

Показатель	Модель насоса		
	1 В 6/5	1 В 20/5	1 В 20/10
Производительность, м³/ч	5,0	16	16
Давление нагнетания, МПа (кгс/см²)	0,5 (50)	0,5 (50)	1 (100)
Допустимая вакуумметрическая высота всасывания, Па (кгс/см²)	0,06 (6)	0,06 (6)	0,06 (6)
Частота вращения, $с^{-1}$	23,8	24,1	24,3
Мощность, кВт	3	4	10
Масса насоса с электродвигателем на раме, кг	130	206	240
Габарит, мм:			
длина	1379	1510	1857
ширина	410	450	470
высота	370	535	485

и удлиняет время фильтрации массы. В это же время очищают и дренажные канавки плит.

Для облегчения обслуживания фильтр-прессы устанавливают на возвышении, что позволяет размещать под ними транспортер. В этом случае при раздвигании плит коржи падают на ленту транспортера и подаются в вакуум-пресс для последующей обработки. Фильтр-прессы типа LFP имеют высокие стойки, что позволяет устанавливать под ними транспортер без устройства специальной эстакады. В этом случае вокруг прессов делается площадка для обслуживания.

На каждом заводе следует установить оптимальную кривую повышения давления прессования с учетом особенностей свойств массы, конструкции фильтр-прессов и насосов. Обслуживающий персонал должен строго выполнять технологическую инструкцию,

Таблица VI.7

Техническая характеристика фильтр-прессов

Показатель	K/FPRY		LFAK	
	500	800	800	1000
Диаметр фильтровальных плит, мм	500	800	800	1000·1000
Количество камер	50	60	60	70
Фильтрующая поверхность, м²	15	40	—	140
Объем фильтр-пресса при толщине коржа 30 мм, л	230	730	660	2030
Максимальное давление фильтрации, МПа (кгс/см²)	0,8—1 (8—10)	0,8—1 (8—10)	1,0 (10)	1,6 (16)

не допускать резкого повышения давления прессования, так как это ухудшает качество массы, приводит к прорыву фильтрующего полотна или уплотнений между плитами пресса и утечкам массы.

Не следует нагревать массу выше 45° С, так как это ухудшает ее качество, кроме того, такую массу плохо нагнетают насосы из-за потери высоты всасывания. Не рекомендуется фильтровать и холодную массу, так как это значительно замедляет процесс.

Контроль за процессом обычно ведут по вытекающему из пресса фильтрату. Однако этот метод контроля не обеспечивает достаточной точности, так необходимой теперь, когда в связи с формованием роликовым шаблоном требуется масса влажностью 20–21%.

Разгрузка массы из фильтр-прессов до недавнего времени была очень тяжелой и трудоемкой операцией. Поиски оборудования, механизирующего эту операцию, привели к созданию в УКРНИИхиммаше автоматического камерного фильтр-пресса ФПАКМ с механическим зажимом плит. Этот фильтр-пресс предназначен для фильтрации различных тонкодисперсных суспензий при температуре от 5 до 70° С при условии, что суспензия может транспортироваться по трубам диаметром 25 мм.

Благодаря совершенству конструкции, высокому уровню автоматизации этот процесс получил международное признание и начинает применяться в тонкокерамическом производстве.

Фильтр-пресс ФПАКМ состоит из набора фильтрующих плит *1* (рис. VI.12), расположенных между верхней упорной плитой *2* и нижней нажимной плитой *3*. Под нажимной плитой установлен механизм зажима *4*, который представляет собой рычажно-винтовую систему, выполняющую подъем, опускание и уплотнение фильтрующих плит.

Фильтровальная ткань *5* в виде бесконечной ленты зигзагообразно протянута между фильтрующими плитами. Натяжение фильтровальной ткани осуществляется устройством *6*, установленным на верхней упорной плите.

Передвижение фильтровальной ткани для выгрузки осадка, очистки и промывки выполняет привод *7*, состоящий из приводного барабана, прижимного ролика, электродвигателя и червячного редуктора. Фильтровальная ткань, пройдя привод передвижки ткани, поступает в камеру *8*, где установлены ножи очистки и трубки для струйной ее промывки.

Сверху камеры установлены направляющие ролики *9* для устранения смещения фильтровальной ткани относительно фильтрующих плит.

Привод передвижки ткани, камера очистки полотна и опорная плита установлены на общей раме *10*.

При сжатых плитах суспензия поступает по трубопроводу и коллектору подачи *11*, на выходе которого установлен автоматически открывающийся клапан. Фильтрующая плита состоит из двух частей: верхней части корпуса — камеры фильтрата *1* (рис. VI.13) и нижней — рамки *2* (камера фильтрации).

Корпус предназначен для сбора и отвода фильтрата и имеет днище и дренажное основание *3* в виде вкладышей из перфорированного листа. В рамке формируется осадок.

Между корпусом и рамкой расположена выпуклая резиновая диафрагма *4*, предназначенная для отжима осадка.

При заполнении фильтр-пресса суспензией (позиция *I*) жидкая фаза (фильтрат) проходит через ткань *5* и перфорированное сито в камеры фильтрата и далее в коллектор отвода *6*. Твердая фаза задерживается на поверхности ткани и образует осадок. Осадок отжимается (позиция *II*) резиновыми диафрагмами, на которые подается вода насосной станцией через коллектор давления *12* (см. рис. VI.12), слив воды из диафрагмированных камер производится обратным путем через коллектор давления.

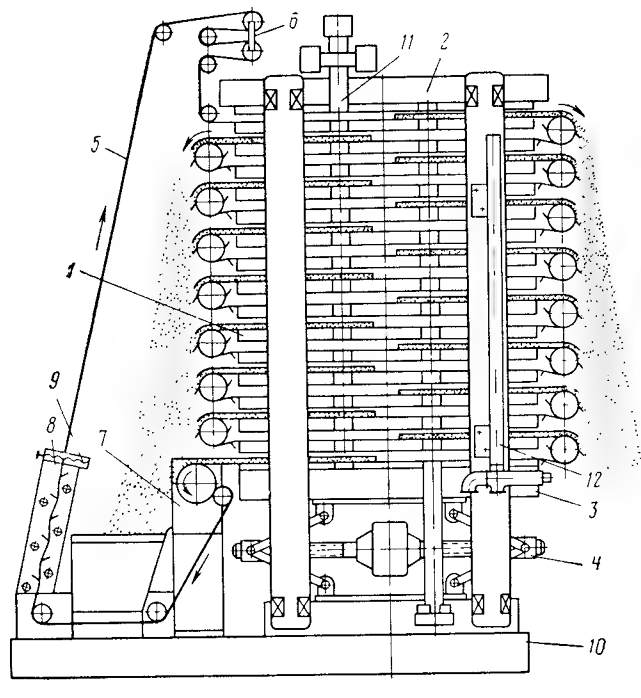


Рис. VI.12. Схема фильтр-пресса ФПАКМ

В некоторых случаях бывает необходимо образовавшийся осадок промывать или просушивать (позиция *III*).

После операции отжима происходит выгрузка осадка. После раскрытия фильтр-пресса (позиция *IV*, рис. VI.13) между фильтрующими плитами образуется зазор в 45 мм. Фильтровальная ткань, приводимая в движение приводом передвижки ткани, выносит осадок из межплитного пространства. Осадок выгружают одновременно с двух сторон фильтр-пресса.

Для сбора осадка устанавливаются транспортеры, которые подают коржи массы на общий транспортер, в конце которого установлен вакуум-пресс для промина массы.

Управление фильтр-прессом осуществляется системой автоматики, которая обеспечивает работу фильтр-пресса в автоматическом и полуавтоматическом режимах, а также независимое дистанционное управление электро- и гидроприводами исполнительных органов.

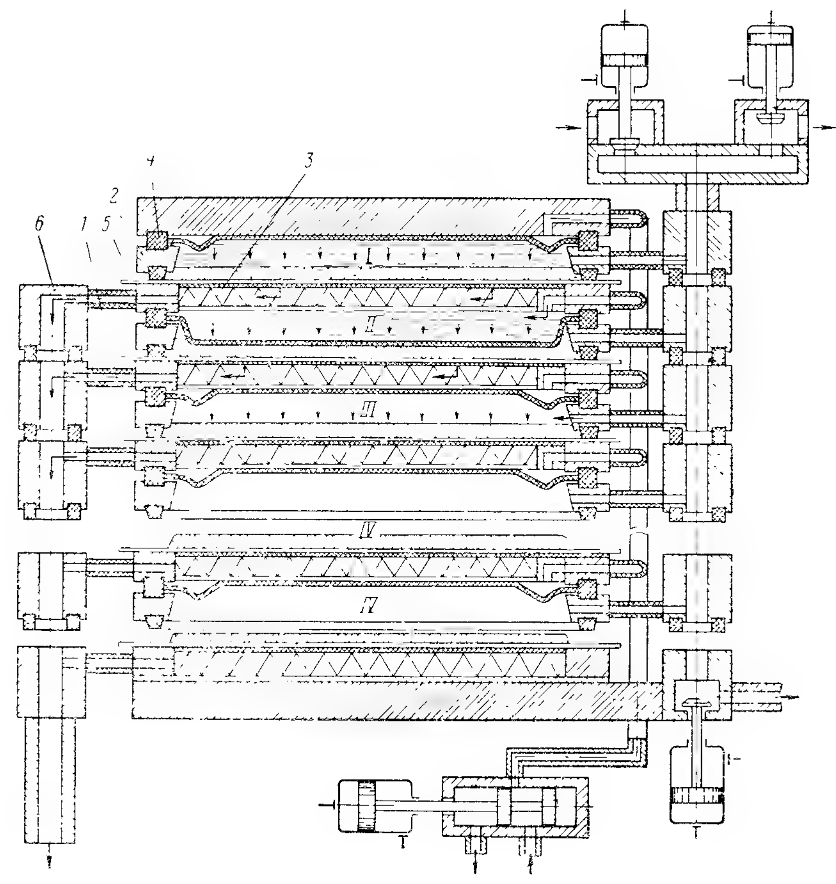


Рис. VI.13. Принципиальная схема работы фильтр-пресса ФПАКМ

Автоматические камерные фильтр-прессы имеют следующие преимущества.

1. Возможность получения большой рабочей поверхности фильтрования вследствие лучшего по сравнению с обычными фильтр-прессами использования высоты помещения.

2. Сокращение до минимума потерь времени на разгрузку фильтр-пресса.

3. Незначительное время разгрузки позволило вести процесс фильтрации с образованием тонкого слоя осадка. В этом случае

скорость фильтрации увеличивается, а затраты энергии сокращаются.

4. Систематическая очистка фильтрующей ткани от осадка.

Техническая характеристика фильтр-пресса ФПАКМ приведена в табл. VI.8.

Таблица VI.8

Техническая характеристика фильтр-пресса ФПАКМ

Показатель	Типоразмер фильтр-пресса			
	2,5	5	10	25
Поверхность фильтрации, м²	2,5	5	10	25
Расчетное количество фильтрующих плит	6	6	12	16
Максимальная толщина осадка, мм	35	35	35	35
Давление фильтрации, кПа, максимальное	До 15			
Давление отжима диафрагмой, кПа, рабочее	До 12			
Суммарная мощность электродвигателей, кВт	17,5	23	23	35
Время зажима фильтрующих плит, с	34	30	49	60
Габарит, мм:				
длина	2825	3375	3375	3770
ширина	1690	2060	2060	2155
высота	2725	2778	3525	4200
Масса, т:				
собственно фильтр-пресса	4,77	6,9	8,67	14,28
фильтр-пресса в комплекте	6,3	8,4	10,2	16,6
Рекомендуемая фильтровальная ткань, мм:				
длина	17 000	20 000	35 000	50 000
ширина	700—750	845—920	845—920	1100—1200

5. ГОМОГЕНИЗАЦИЯ И ВАКУУМНАЯ ОБРАБОТКА МАССЫ

Полученная из камерных фильтр-прессов масса отличается неоднородностью состава в различных частях коржа. При фильтрации тонкие частицы глины заполняют промежутки между крупными частицами массы и поэтому внешние слои коржа содержат больше глинистых компонентов, чем внутренние. Центральная часть коржа, а при большой толщине и средняя ее часть, имеют более высокую влажность. Кроме того, эта масса содержит большое количество воздуха в свободном и адсорбированном частицами виде.

Для улучшения формовочных свойств массу после фильтр-прессования подвергают обработке, обеспечивающей выравнивание ее

состава (гомогенизация), частичное удаление воздуха и придание формы, удобной для использования в формовочном цехе. До недавнего времени на многих заводах предусматривалось длительное вылеживание массы в специальных подвалах, без которого было невозможно получить хорошую пластичную массу. В последнее время взгляд на необходимость этой операции изменился. Безусловно, при правильном режиме вылеживания качество массы улучшается благодаря следующим процессам.

1. Происходит гидролиз зерен полевошпатовых пород. Выделяющиеся при этом катионы щелочей адсорбируются с их сольватными оболочками — глинистыми частицами, повышая их скольжение при деформации массы во время формования изделий.

В результате деятельности бактерий происходит разложение органических веществ, всегда присутствующих в глинах, способствующее повышению пластичности глин. Бактерии разрушают кристаллическую структуру каолинов и глин, что также увеличивает пластичность массы.

2. Выравнивается влажность массы и снижается содержание в ней газов.

Длительное вылеживание в сочетании с тщательным перемешиванием на мялках «Фора» обеспечивало высокую пластичность массы. Однако в современном производстве, когда даже на заводе средней мощности суточный расход массы около 50 т, от вылеживания массы отказались.

Большинство заводов, применяя двукратный промин в вакуумных мялках, получает формовочную массу вполне удовлетворительного качества после предварительной суточной выдержки ее в контейнерах перед формованием.

В последние годы для подготовки пластичной массы к формованию наибольшее распространение получили вакуумные массомялки, или вакуум-прессы, названные так потому, что они применяются в качестве прессов для получения изделий способом выдавливания через профилирующий мундштук.

Основными частями вакуумной массомялки (рис. VI.14) являются вал *1* с винтовым шнеком *2*, вакуум-камера *3*, винтовой шнек *4* для формования бруса, редуктор *5* для привода массомялки от электродвигателя *6* через клиноременную передачу *7* с фрикционной муфтой *8*. В корыте *9* вращается вал, на который насажены винтовые шнеки *2* и коническая винтовая насадка *10*, выжимающая массу через кольцевую обойму *11* в вакуум-камеру *3*. В камере установлен резательный аппарат. На вращающемся валу аппарата сидит втулка, в которой закреплены ножи *12*, разрезающие массу при подаче ее в вакуум-камеру на тонкие ленты. Резательный механизм приводится в движение через редуктор *5*, вал *13* и цепную передачу *14*.

Масса, разрезанная на ленты, поступает в вакуум-камеру *3*. В крышке вакуум-камеры имеются смотровые стекла *15*, а для контроля вакуума — манометр *16*. Вакуумированная масса шнеком *4* выдавливается через мундштук *17*. Для приготовления заготовок большого диаметра мялка имеет расширяющуюся переходную головку *18*.

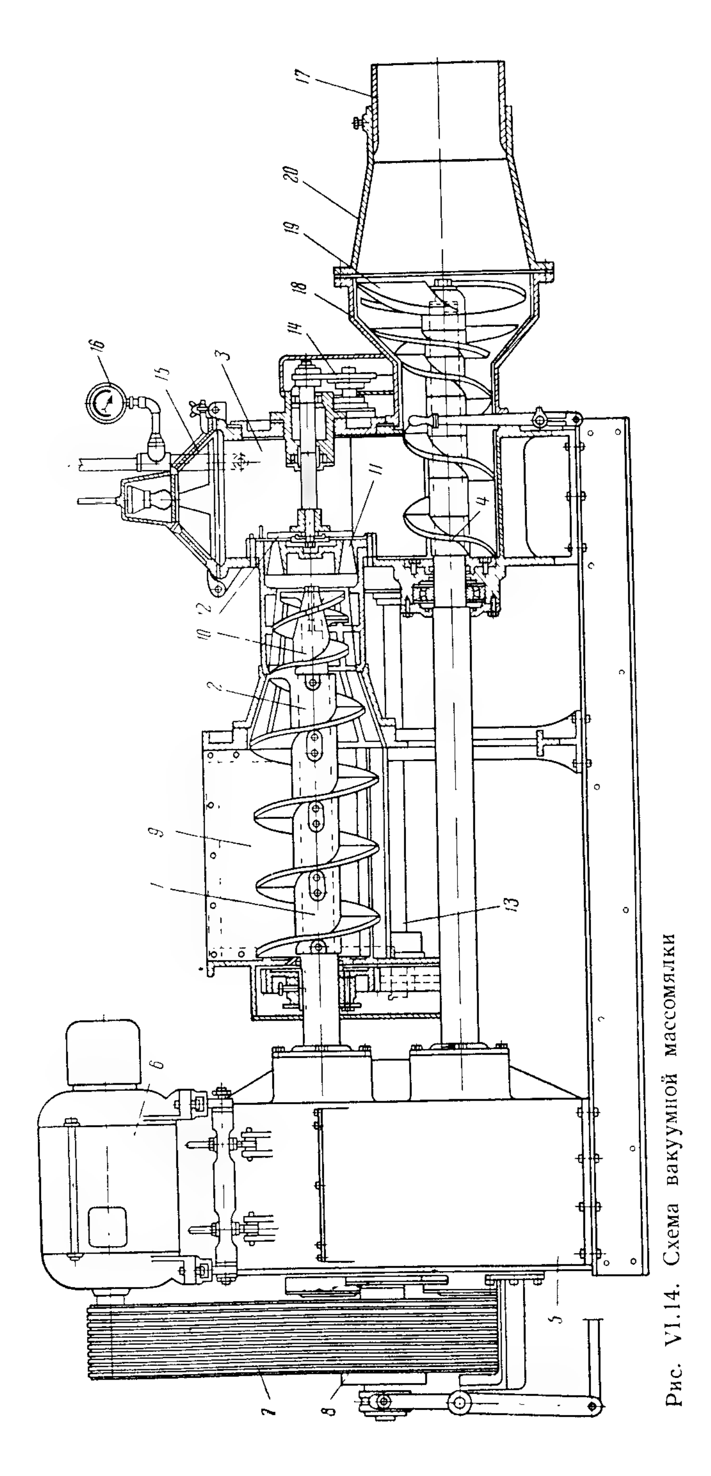


Рис. VI.14. Схема вакуумной массомялки

Как показали исследования, переходная расширительная головка может работать и без дополнительных лопастей *19*. Необходимое уплотнение массы создается увеличением сопротивления мундштука путем установки дополнительных насадок *20* перед мундштуком *17*.

Толщина лент массы, поступающей в вакуум-камеру, регулируется изменением частоты вращения резательного механизма путем замены звездочки цепной передачи *14*.

Вакуумная мялка описанной конструкции не имеет устройства для регулирования подачи массы в вакуум-камеру, что может привести к переполнению последней в случае увеличения сопротивления в мундштуке. Фирма «Тюрингия» (ГДР) и некоторые другие фирмы выпускают вакуумные прессы, которые имеют устройства для регулирования числа оборотов шнеков, что позволяет обрабатывать на них массы любой консистенции и получать заготовки необходимого диаметра.

Основные технические характеристики вакуумных массомялок приведены в табл. VI.9.

Таблица VI.9

Техническая характеристика вакуумных массомялок фирмы «Тюрингия»

Показатель	Тип K/S:SV		
	200	250/1	350/1
Диаметр цилиндра, мм	200	250	350
Частота вращения шнека, c^{-1}	0,3	0,236 и 0,373	0,236 и 0,373
Диаметр заготовок, мм	50—160	100—220	200—320
Производительность в зависимости от диаметра заготовки и свойств массы, т/ч	1—2	4—5	10—14
Мощность электродвигателя (включая вакуум-насос), кВт	8,5	17,5	55
Габарит, мм:			
длина	2265	4500	6500
ширина	925	700	950
высота	910	1300	1750
Масса, кг	1020	3200	6200

При обработке массы на вакуум-прессах особое внимание уделяют работе вакуумной камеры и контролю разрежения в ней. При вакуумировании существенно улучшаются формовочные свойства массы, ее пластичность.

В результате хорошей вакуумной обработки массы повышается механическая прочность отформованных из нее изделий, уменьшается усадка массы, что способствует сокращению такого дефекта, как деформация изделий при сушке и обжиге (табл. VI.10).

Вакуумная обработка массы снижает пористость, повышает механическую прочность, химическую стойкость и диэлектрические показатели готовых изделий. Конечная температура обжига обез-

Таблица VI.10

Влияние вакуумирования на свойства фарфоровых масс и готовых изделий

Показатель	Масса	
	вакуумированная	невакуумированная
Содержание воздуха, объемный %	0,3—4,25	5,1—9,5
Влажность, %	20,4—23,5	21,6—24,12
Предел прочности при разрыве, кПа	17,4—37,7	11,0—33,4
Увеличение разрывного усилия, %	12,9—69,5	—
Усадка, %:		
при обжиге до 920° С	4,47—7,07	4,59—7,21
» » » 1320° С	5,54—6,41	4,51—6,68
Водопоглощение после обжига, %	0,08—0,15	0,14—0,21
Предел прочности образцов при изломе, кПа:		
высушенных при 110° С	2000—4700	856—3030
обожженных » 920° С	3375—4910	1490—4035
» » 1320° С	61 800—69 510	59 900—69 800

воздушенных масс на 20—30° С ниже массы того же состава, но невакуумированной.

Для управления процессом вакуумирования необходимо учитывать сущность явлений, протекающих в массе при вакуумной обработке.

Пластичная керамическая масса, полученная с фильтр-прессов, содержит от 5 до 15 объемных процентов воздуха в виде пузырьков различной величины, заполняющих поры, или адсорбированного поверхностью частиц. Процесс вакуумирования осложняется тонкодисперсным распределением воздуха в массе и выделением из нее значительных количеств паров воды.

В вакуумной камере создается такое разрежение, при котором воздушные пузырьки, содержащиеся в массе, будут увеличиваться в размере до тех пор, пока слой массы над ними не будет разорван. Очевидно, что чем больше разница давления воздуха над слоем массы и внутри пузырька, тем большего размера достигает пузырек и тем возможнее его удаление с большей глубины [5].

Для пластичных масс разрыв пленки над пузырьком наступает позже, чем у непластичных. Поэтому пластичные массы труднее вакуумируются. Однако это не значит, что воздух не будет удаляться из более глубоких слоев. При вакуумировании выход внешнего пузырька воздуха открывает путь для выхода пузырька, лежащего под ним. Таким образом, через некоторое время воздух удаляется и из глубины, а масса приобретает в вакуум-камере структуру губки. Она затем уплотняется шнеком и становится вполне однородной.

Для успешного вакуумирования тонкокерамических масс необходимо руководствоваться следующим.

1. При высокой связности и пластичности массы (например, фаянсовой) она должна поступать в вакуум-камеру в виде более тон-

ких лент (не толще 5—10 мм), чем при рыхлых, например, шамотных массах.

2. Для удаления тонкодисперсных воздушных включений надо резрезать массу на более тонкие ленты и повысить вакуум. При вакуумировании тонкокерамических масс рекомендуется поддерживать вакуум около 99 кПа (740 мм рт. ст.).

3. Необходимо строго соблюдать время пребывания массы в вакуум-камере. Для хорошей работы вакуум-пресса необходимо также обеспечить равномерную загрузку его массой.

6. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ШЛИКЕРА ДЛЯ ОТЛИВКИ ФАРФОРА И ФАЯНСА

Увеличение производства изделий сложной формы, получение которых возможно только методом литья из текучих масс, все более расширяется. Создание машин для литья также способствует распространению этого метода.

При смешивании с водой глина остается липкой и пластичной до тех пор, пока количество воды не будет больше некоторой критической величины, при которой наступает текучее состояние суспензии. При наблюдении этого процесса под микроскопом видно, что вначале глинистые частицы связаны между собой в агрегаты или флокулы. При добавлении воды связь между отдельными частицами нарушается, и суспензия становится текучей. Этот момент наступает значительно быстрее, если в систему добавить небольшое количество силиката натрия. В этом случае текучесть может наступить при меньшем содержании воды, иногда около 20%. Такие системы при незначительной потере воды утрачивают текучесть и вновь становятся пластичными.

Указанные явления возникают вследствие действия слабых молекулярных сил, водородных связей, электростатического отталкивания одноименно заряженных или притяжения противоположно заряженных мест частиц и их полярных гидратных оболочек. Прослойки воды ослабляют действие этих сил. Свойства глинистых суспензий зависят от структуры силы взаимодействия частиц, которые определяются минералогическим составом, морфологией и дисперсностью твердой фазы, концентрацией суспензий, родом и концентрацией ионов и поверхностно-активных веществ, поглощенных глиной и растворенных в воде, температурой. Воздействуя на эти факторы, можно изменить свойства шликеров.

Дефлокуляция зависит от сил отталкивания и притяжения между частицами глины. Установлено, что в результате различных дефектов кристаллической решетки частицы глины имеют отрицательный заряд, благодаря которому их поверхностью адсорбируются положительные ионы, способные к обмену. В природных глинах присутствуют щелочноземельные Ca^{2+} или другие ионы, прочно адсорбированные глиной и уменьшающие потенциал отрицательного заряда.

При добавке в такую систему раствора силиката натрия происходит реакция, в результате которой адсорбированные ионы кальция

осаждаются в виде нерастворимого силиката кальция, а их место замещают ионы натрия:

$$\text{глина} - Ca^{2+} + Na_2SiO_3 = \text{глина}{}^{-Na^+}_{-Na^+} + CaSiO_3.$$

Благодаря высокой гидратации ионов натрия глинистая частица сохраняет остаточный отрицательный заряд, препятствующий сближению ее с другими частицами. В этом случае наблюдается увеличение текучести системы.

Роль воды в керамической суспензии не ограничивается ролью пассивной среды, не взаимодействующей с компонентами системы.

Если абсолютно сухие коллоидные частицы минералов, входящих в состав керамических масс, смачивать водой, то можно заметить повышение температуры порошка, что свидетельствует о наличии экзотермического процесса. Этот процесс состоит в том, что молекулы воды прочно связываются с поверхностью минеральных частиц, располагаясь на ней в определенном ориентированном порядке. Этот процесс называется сольватацией, а оболочка из ориентированных молекул воды именуется сольватной оболочкой. Толщина сольватной оболочки зависит от индивидуальных свойств минералов и от наличия электролитов в воде и иногда достигает значительных размеров (0,075 мкм).

К сольватной оболочке примыкает диффузная водная оболочка, в которой ориентация молекул постепенно нарушается по мере удаления от поверхности частицы. Эта диффузно связанная водная оболочка называется рыхло связанной водой.

Находящиеся в водной среде катионы также окружены водными оболочками. Эти оболочки тем больше, чем меньше радиус катиона. Определено, что катионы одновалентных металлов образуют оболочки, содержащие следующее количество молекул воды: Li — 120, Na — 66 и K — 16. У двухвалентных и трехвалентных ионов сольватные оболочки значительно меньше. При адсорбции минеральная частица захватывает катион вместе с его сольватной оболочкой.

В процессе обменной адсорбции из сольватных оболочек минеральных частиц могут быть вытеснены катионы, имеющие большую сольватную оболочку. В этом случае в системе увеличится количество свободной воды и наступит разжижение.

В системе вода—минеральные частицы вода находится в виде сольватных оболочек (прочно связанная вода), диффузных оболочек (рыхло связанная вода), свободной воды между твердыми частицами (разжижающая вода).

Уменьшая толщину оболочек рыхло связанной воды и переводя ее в категорию разжижающей воды, можно увеличить ее содержание, в результате чего шликер становится подвижнее.

Процесс разжижения шликера можно условно разделить на три стадии: стабилизация суспензии, разжижение шликера и коагуляция шликера.

1. Стабилизация суспензии происходит при введении электролита в количестве, меньшем необходимого для полного разжижения. При этом катионы натрия электролита замещают менее активные катионы

калия, магния, кальция и другие и происходит дефлокуляция. При этом освобождается вода, заключенная внутри частиц, однако разжижения не происходит, так как количество рыхло связанной воды увеличивается и в этом случае может наступить даже некоторое увеличение вязкости шликера.

2. При дальнейшем добавлении электролита увеличивается его концентрация в растворе. При этом уменьшается диссоциация поглощенного натрия, вследствие чего уменьшается толщина рыхло связанной воды и часть ее переходит в свободное состояние — происходит разжижение шликера.

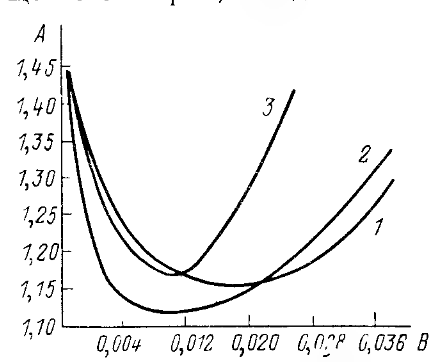


Рис. VI.15. Зависимость относительной вязкости (*A*) от добавок дефлокулянтов (*B*)

3. При дальнейшем добавлении электролита наступает третья стадия процесса. Толщина оболочек сокращается до критической величины, при которой они не могут препятствовать взаимному притяжению частиц. Частицы начинают слипаться в агрегаты, т. е. наступает коагуляция шликера. При этом часть свободной воды оказывается замкнутой между слипшимися частицами (механически захваченной).

Таким образом, очевидно, что основным фактором, влияющим на свойство шликера, является дефлокуляция. На рис. VI.15 показано изменение относительной вязкости водно-глинистой суспензии глуховецкого каолина в зависимости от количества жидкого стекла *1*, гуматной вытяжки жидким стеклом *2* и гуматной вытяжки едким натром *3*.

В качестве дефлокулянтов, или разжижающих электролитов, чаще всего применяют растворимое стекло и соду. Могут быть использованы дубильный экстракт, таннин, пирофосфатнокислый натрий, лигносульфат натрия и некоторые другие материалы.

Лучший литейный шликер получается, если для его приготовления используют коржи массы, из которых в процессе фильтр-прессования с ретурными водами удалены примеси, вредно влияющие на его свойства.

По более дешевому способу шликер готовят, смешивая в мешалках предварительно измельченные в шаровых мельницах каменистые материалы с глинистыми компонентами. В первую очередь вводится каолин мокрого обогащения, так как он содержит 2–2,5% остаточных электролитов, что позволяет сократить их общее количество на 15—25%.

На заводах, вырабатывающих посуду, для приготовления литейного шликера используют обычно коржи пластичной массы или чистые отходы массы, получаемые при формовании изделий. Эти материалы небольшими порциями загружаются в мешалку, в которую предварительно налита вода с электролитами. После полного смешивания суспензию процеживают через сито № 016 (1480 отв./см²) и обогащают на магнитных сепараторах. Хранится шликер в сборниках-смесителях, из которых после трехсуточной выдержки его можно подавать в расходные мешалки на участок литья.

В зависимости от состава массы и способа отливки изделий шликер готовится различной влажности, текучести и загустеваемости.

Для повышения прочности изделий, отлитых из шликера, в него рекомендуется добавлять 1–2% раствора КМЦ при концентрации 4—6%.

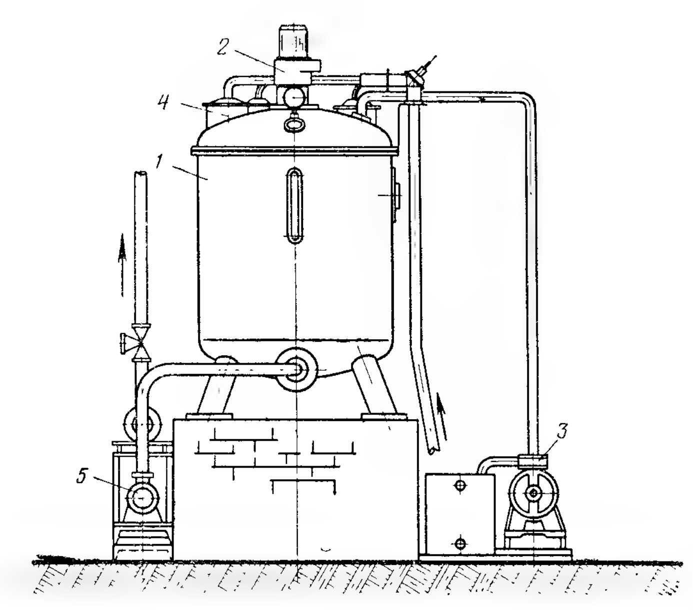


Рис. VI.16. Схема установки для вакуумирования шликера

Для удаления из шликера воздуха используют различные устройства, например установку фирмы «Нетч» (рис. VI.16). Она состоит из герметично закрывающегося резервуара *1* с мешалкой *2*, вакуумного насоса *3*. Шликер через три разбрызгивающие устройства *4* впрыскивают в виде тонких струй или брызг в резервуар, откуда выкачан воздух. Контроль за разрежением в резервуаре ведется по манометру. Готовый шликер транспортируется к рабочим местам винтовым насосом *5*. Применяются также установки, в которых выполняется вакуумирование шликера и пневматическая его разгрузка из резервуаров с подачей на отливку изделий [5].

7. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ПРЕСС-ПОРОШКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫХ СУШИЛОК

Сушка шликера в распыленном виде открыла в производстве керамических плиток новые возможности в создании эффективных автоматизированных процессов. Впервые этот способ применен с целью получения порошка массы для прессования фаян-

совых облицовочных плиток. Сложный комплекс оборудования, включающий фильтр-прессы, сушилки, агрегаты измельчения и транспортирования заменен одной непрерывно действующей распылительной сушилкой. Кроме значительного снижения капиталовложений на строительство, распылительные сушилки обеспечивают получение пресс-порошка с лучшими технологическими свойствами. Сферическая форма частиц и близкий к оптимальному гранулометрический состав обеспечивают хорошую текучесть порошка и плотное заполнение пресс-форм даже сложной конфигурации.

Производительность сушилки при равном расходе тепла будет тем выше, чем больше твердой фазы в шликере (табл. VI.11).

Таблица VI.11

Производительность сушилки в зависимости от концентрации шликера

Показатель	Концентрация шликера, %			
	52	60	65	70
Количество шликера, высушенного распылительной сушилкой, кг	1187	906	731	543
Количество полученного порошка с 5% влаги, кг	650	572	500	400
Количество испаренной воды, кг	537	334	231	143
Расход тепла на сушку (ориентировочно), %	100	62	43	27

В этих условиях особенно важным становится применение электролитов, обеспечивающих наивысшую концентрацию шликера и не ухудшающих формовочных свойств массы.

Разработаны эффективные электролиты, которые частично разлагаются под влиянием высокой температуры в сушилке. Отрицательное действие этих электролитов в пластичной массе ограничено. К 1970 г. в ФРГ поступил в продажу разжижающий препарат «Долапикс СА», который, по заявлению фирмы, улучшает свойства массы, повышая ее пластичность и прочность в сухом состоянии.

В промышленности строительной керамики используют распылительные сушилки с механическими форсунками конструкции ПКБ института НИИстройкерамики, Минского комбината строительных материалов и института Гипростройматериалы.

Башенная распылительная сушилка конструкции Минского комбината строительных материалов состоит из камеры, распылительного устройства, систем подачи суспензии и теплоносителя, выгрузки пресс-порошка, удаления и очистки отработанного теплоносителя и возврата пыли.

Сушильная камера представляет собой металлический цилиндр, заканчивающийся внизу конусом, который служит для сбора готового продукта. Камеру монтируют на колоннах из металлических полых панелей, заполненных минеральной ватой.

Между несущими колоннами по периметру сушилки находятся металлические застекленные переплеты, и таким образом под конусной частью сушилки образуется производственное помещение площадью 60 м². Здесь размещается газовое оборудование, щит контрольно-измерительных приборов, оборудование для транспортирования пресс-порошка и рабочее место оператора.

Отличительные особенности сушилки: распыление керамической суспензии осуществляется одной механической форсункой при давлении 2,5—3 МПа (25—30 кгс/см²), сжигание газа в нескольких вертикальных встроенных топках, расположенных по периметру башни так, что продукты сгорания вначале поднимаются вверх вдоль стен башни, а затем опускаются вниз к центральному отсасывающему трубопроводу. Распыление суспензии одной форсункой предопределяет значительные размеры сопла, что, с одной стороны, позволяет надежно распылять грубодисперсные керамические суспензии с минимальной влажностью и, с другой стороны, упрощает обслуживание системы распыления.

Распылительная сушилка НИИстройкерамики состоит из сушильной камеры, системы подачи и распыления суспензии, газооборудования, устройства для сжигания газа, вентиляционной системы и устройства для улавливания пыли, регулирования и контрольно-измерительных приборов. Отличительные особенности сушилки: распыление керамической суспензии осуществляется пучком форсунок при давлении 1—2 МПа (10—20 кгс/см²), сжигание газа — внутри сушильной башни. При распылении суспензии пучком форсунок достигают высокой концентрации материала в объеме факела и в связи с этим получают высокие удельные влагосъемы. Сжигание газа в металлических туннелях, расположенных внутри сушильной башни, позволяет снизить потери тепла и получить высокий удельный влагосъем — 20—25 кг/м³ в час.

Техническая характеристика распылительных сушилок

	Сушилка Минского комбината	Сушилка НИИстройкерамики
Производительность, т/ч:		
по керамическому пресс-порошку	4,5	2,6
по испаряемой влаге	3	2,02
Удельный расход тепла на испарение воды, кДж	3486	3158
Объем сушильной камеры, м³	650	94
Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т	9,4	5
Удельный влагосъем, кг/м³	4,35	24
Габарит, мм	16 500×9000	7400×4500

Некоторыми фирмами, в частности фирмой «Дорст» (ФРГ), предложены установки для производства пластичной массы из литейного шликера.

Однако, учитывая значительные энергетические затраты на получение гранулята, окончательный вывод об экономической эффек-

тивности различных способов получения массы может быть сделан с учетом последних достижений в автоматизации процесса фильтрпрессования керамических суспензий.

8. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ГЛАЗУРЕЙ

В зависимости от температуры, при которой на изделии образуется стеклообразное покрытие, подбирается состав глазури. Теоретические основы расчета глазурей рассмотрены в главе V.

От качества глазурного покрытия в значительной мере зависят внешний вид и эксплуатационные свойства изделий, поэтому приготовление глазурей требует особой тщательности.

Приготовление фарфоровой глазури не отличается принципиально от приготовления фарфоровой массы. Особое внимание уделяется чистоте сырьевых материалов и их химическому составу. Тщательно отсортированные, измельченные на бегунах, просеянные и прошедшие магнитное обогащение компоненты в строгом соответствии с рецептом загружаются в шаровую мельницу.

В табл. VI.12 приведены типичные составы фарфоровых глазурей. Характерным для западно-европейских заводов является ввод в состав глазури волластонита, глинозема, окиси цинка. Глазурь одного из фарфоровых заводов ФРГ содержит минерал петалит, в состав которого входит литий. Молекулярная формула этой глазури

$$\left.\begin{matrix} 0{,}014 & Li_2O \\ 0{,}128 & K_2O \\ 0{,}417 & CaO \\ 0{,}327 & MgO \\ 0{,}114 & ZnO \end{matrix}\right\} 0{,}577Al_2O_3 \cdot 4{,}595SiO_2.$$

Таблица VI.12

Состав фарфоровых глазурей, %

Материал	Завод имени М. В. Ломоносова	Дулевский завод	Завод в г. Кала (ГДР)	Завод «Нова Рола» (ЧССР)	Фарфоровый завод ФРГ
Полевой шпат	4	36	14,5	21,49	19,7
Кварц	42,5	30	38	45,34	34,2
Доломит	9,5	12	7,57	7,36	14,4
Каолин сырой	6,5	5	5	15,58	
» обожженный	9,5	—	27,04		22,5
Мел	—	—	6,75	—	—
Мрамор	7,5	—	—	—	—
Бой изделий после первого обжига	20,5	17	—	—	—
Волластонит	—	—	—	6,06	4,9
Глинозем	—	—	—	3,77	—
Окись цинка	—	—	1,14	0,4	2,2
Петалит	—	—	—	—	2,1

Кроме основных компонентов, в глазурь иногда добавляют 0,2—0,3% буры, сернокислого магния, хлористого аммония или хлористого кальция. Эти материалы стабилизируют суспензию, замедляют оседание твердых частиц.

В шаровой мельнице глазурь измельчают до остатка не более 0,3—0,5% на контрольном сите № 0,05 (13900 отв./см^2). Такое тонкое измельчение достигается при продолжительности помола около 100 ч, если мельница загружена кремневыми шарами и измельчаемым материалом в соотношении 1 : 1. Влажность суспензии около 45—50%.

Перед использованием глазурь процеживают через вибрационное сито с сеткой 3900—6400 отв./см^2 и подвергают магнитному обогащению.

На фарфоровом заводе «Нова Рола» (ЧССР) принята следующая технология приготовления глазури. В состав глазури вводится кварцевый песок, добываемый в ЧССР, югославский обогащенный полевой шпат с высоким содержанием двуокиси калия, каолин «Вольфка», характеризующийся очень низкой пластичностью и высокой белизной после обжига.

При замене каолина «Вольфка» на более пластичный $^2/_3$ его предварительно обжигают при температуре 900° С. Для придания глазури небольшой пластичности вводится до 2% седлецкого каолина. Для улучшения разлива глазури в ее состав вводится канадский волластонит. Добавка глинозема увеличивает белизну, а окись цинка улучшает блеск и разлив глазури.

При помоле глазури кремневыми шарами количество кварцевого песка в завеске уменьшается с 74 до 44 кг, а в случае применения уралитовых шаров сокращается загрузка глинозема с учетом их истираемости. Соотношение в мельнице шаров, материалов и воды равно 1 : 1 : 0,8. Продолжительность помола 50—70 ч. Плотность глазури 1500—1550 г. Остаток на сите № 0056 – 0,03—0,06%. pH глазури 8—9. После помола глазурь подвергают магнитному об[illegible]гащению и процеживают через сито 4900 – 5100 отв./см^2

Фриттованные глазури испо[illegible]
водстве фаянсовых, майоликовых, полуфар[illegible]
лий, когда глазурованные изделия обж[illegible]
низкой температуре. В состав низкоте[illegible]
ходится вводить растворимые в во[illegible]
что вынуждает сплавлять их [illegible]
в нерастворимые соединени[illegible]
получению более легкопла[illegible]
технологическими свойст[illegible]
тельно дорогостоящий [illegible]
стараются уменьшить.

В состав легкопла[illegible]
количество компоне[illegible]
тельной обработки [illegible]

Часть материал[illegible]
просеивают через с[illegible]

На небольших производствах для варки фритты применяются ванные или вращающиеся периодические печи. Для приготовления больших количеств фритты целесообразно использовать непрерывные вращающиеся или ванные печи.

Примером высокомеханизированного производства фаянсовой глазури может служить цех фаянсового завода имени М. И. Калинина. В цехе установлены две непрерывные ванные печи с площадью варки 7,5 м² каждая. Шихта после смешивания в роторном смесителе пневмотранспортом подается в бункер, установленный у печи, и механическим загрузчиком небольшими порциями подается в варочную часть печи. При температуре около 1300° С происходит сплавление всех компонентов в однородное прозрачное стекло. Расплавленная фритта по керамическому лотку непрерывной струей стекает в грануляционный бассейн с холодной проточной водой и от резкого охлаждения распадается на гранулы. Из грануляционного бассейна фритта наклонным ленточным транспортером подается в бункер.

Тонкое измельчение фритты совместно с другими компонентами глазури (табл. VI.13 и VI.14) и дальнейшая обработка осуществляются аналогично приготовлению фарфоровой глазури.

Таблица VI.13

Составы, %, фритты

Материал	Фритта					
	завода имени М. И. Калинина		санитарно-строительного фаянса			Бориславского завода, полуфарфоровая
	фаянсовая	майоликовая	свинцовая	борноцирконовая	цирконовая	
Песок кварцевый	29,7	16,7	20	13	19,8	6
Пегматит	—	—	—	22	32,9	45
Полевой шпат	19,1	29,5	10,4	—	—	—
	—	7	—	—	—	—
	14,4	—	—	17	—	—
	—	24,5	—	—	—	24
…янса	10	12,9	—	11	—	—
	13,3	—	—	—	4,9	—
	—	2,9	—	—	—	—
	54	—	—	—	8,3	3
		—	8	7,4	1,2	8
		5,5	—	—	—	—
			—	—	—	—
			—	0,02	—	—
			—	—	—	4
			—	—	—	10
			6	6,8	2,1	—
				—	—	—
				—	—	—
				—	1,3	—
				11,8	19,1	—
				11	6,1	—
				—	4,3	—

Таблица VI.14

Составы, %, глазурей

Материал	Глазурь					
	завода имени М. И. Калинина		санитарно-строительного фаянса			Бориславского завода, полуфарфоровая
	фаянсовая	майоликовая	I	II	III	
Фритта фаянсовая	92,5	—	—	—	—	—
» майоликовая	—	92,0	—	—	—	
» полуфарфоровая	—	—	—		—	59,0
» свинцовая	—	—	1,8	—		—
» цирконовая	—	—	2,7	—	—	—
Глина	7,5	8,0	5,4	0,5	5,0	—
Каолин	—	—	—	—	—	7,0
Пегматит	—	—	—	—	69,0	34,0
Песок кварцевый	—	—	20,0	31,3	5,0	—
Мел	—	—	7,2	17,3	8,0	—
Окись олова	—	—	8,1	—	—	—
» цинка	—	—	1,8	3,5	3,0	—
Углекислый барий	—	—	—	—	10,0	—
Сульфат натрия *	1,0	2,0	—	—	—	—
Мел жженый *	0,075	—	—	—	—	—
Сернокислый кобальт *	—	—	0,03	0,03	0,03	—

* Сверх 100%.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Труды** XII Международной конференции по фарфору. 1968. Карловы Вары, с. 90—99.
2. **Бахталовский И. В., Мейтина В. А.** Машины для непрерывного роспуска глин.— «Стекло и керамика», 1974, № 1, с. 16—23.
3. **Булавин И. А.** Оборудование фарфоровых и фаянсовых заводов. М., Гизместпром, 1940. с. 109—120.
4. **Касаткин А. Г.** Основные процессы и аппараты химической технологии. М., Госхимиздат, 1961. 825 с.
5. **Булавин И. А.** Машины для производства тонкой керамики. М., Машгиз, 1962, с. 180—182, 332—333.
6. **Куколев Г. В.** Химия кремния и физическая химия силикатов. М., «Высшая школа», 1966. 462 с.

ГЛАВА VII

ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

В производстве тонкой керамики в зависимости от формы изделий используются три основных метода их изготовления: формование из пластичной массы в гипсовых, пластмассовых и стальных формах, отливка из жидкой массы (шликера) и прессование из порошкообразной массы.

1. ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТИЧНОЙ МАССЫ

Многовековое использование метода пластического формования в разных керамических производствах [1] объясняется уникальными свойствами глин и каолинов [2], дающих в сочетании с другим минеральным сырьем технологичные и экономически эффективные керамические массы, описанные в главах V и VI.

Формование изделий из пластичной массы влажностью 23—28% применяется в производстве фарфоровой и фаянсовой посуды, фарфоровых изоляторов, майолики и других видов тонкой керамики. Изделия, имеющие форму тел вращения (например тарелки, чашки, чайники, штыревые изоляторы), формуются в гипсовых или пластмассовых формах с помощью профилированных шаблонов или штемпелей и роликов на станках, полуавтоматах и автоматах. Полуавтоматическое формирование в стальных формах фарфоровых изоляторов из пластичной массы пониженной влажности (17—19%) позволяет упростить технологический процесс и сократить продолжительность сушки.

Техническая тонкая керамика цилиндрической или призматической формы (например трубы и штабики) изготовляется выдавливанием пластической массы через профилированные мундштуки на шнековых или поршневых прессах. Формование методом выдавливания через мундштуки сочетается с дополнительной обработкой — обточкой изделий режущими инструментами на специальных автоматах. В производстве посуды обработка резания является вспомогательной операцией и называется оправкой изделий.

Формовочные свойства пластичных тонкокерамических масс. Фарфоровые, фаянсовые и другие пластичные массы, в состав которых вводятся глины и каолины, относятся к группе твердообразных паст и широко используются для формования изделий разной формы и размеров. Эти массы состоят из глин, каолинов, тонкоразмолотых отощающих материалов, воды и воздушных включений. Формовочная способность пластичных масс определяется их влажностью, содержанием и пластичностью использованных глин и каолинов, количеством и дисперсностью введенных отощающих добавок (кварца, полевого шпата и др.), а также количеством и распределением воздушных включений.

Особенности и технологические режимы процессов формования фарфора и фаянса определяются в основном реологическими свойствами системы глина—вода.

При содержании в этой системе 30—50% воды получаются суспензии — жидкообразные шликеры для отливки изделий, а при содержании 18—30% воды получаются пластичные массы — твердообразные пасты. В порошкообразных керамических массах влажность 5—10%; разрушенная структура восстанавливается при прессовании изделий в стальных формах под большим давлением. В этом процессе увлажненная глина является пластификатором и может

частично или полностью заменяться органическими веществами. В производстве хозяйственного фарфора и фаянса используются преимущественно пластичные массы. Формование изделий с помощью шаблонов или роликов протекает эффективно при оптимальной вязкости пластичной массы. Вязкость нормальных (ньютоновских) жидкостей определяется после измерения напряжения сдвига (рис. VII.1) по формуле

$$P = \eta \frac{dv}{db},$$

где P — напряжение сдвига, дин·см²;

η — вязкость — коэффициент внутреннего трения, пз (дин·см⁻²·с);

dv — градиент скорости сдвига, с⁻¹;

db — расстояние движущейся пластинки от неподвижной.

Вязкое течение нормальных жидкостей начинается при любом значении напряжения сдвига. Напряжением сдвига определяется скорость течения, а вязкость зависит лишь от температуры данной жидкости. В сложных (структурированных) системах, в том числе в пластичных керамических массах, между частицами глины, каолина и водой действуют молекулярные силы притяжения в радиусе около 20 Å, превышающие силы отталкивания и способствующие слипанию частиц и упрочнению системы в целом [3, 4]. Поэтому вязкое течение начинается лишь после приложения напряжения, достаточного для преодоления этих сил в данной системе, и называемого предельным напряжением сдвига $P_к$ (предел текучести). Активная величина напряжения сдвига при пластично-вязком течении равна $P—P_к$.

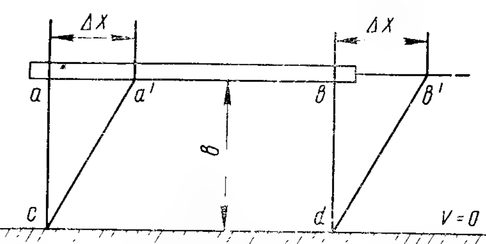


Рис. VII.1. Схема деформации в материале между подвижной и неподвижной пластинками

Вязкость пластичной массы зависит от напряжения $\eta(P)$. С увеличением P вязкость уменьшается, так как при течении массы количество разрушаемых связей между частицами превышает количество восстанавливаемых связей.

От вязкости пластичной массы зависят усилия, приложенные к формующим органам полуавтомата, и скорость деформации (пластично-вязкого течения) цилиндра массы до получения изделия заданной формы.

Величина относительного сдвига за время деформации цилиндра массы формующим роликом

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{b},$$

где Δx — смещение (течение) слоя массы, прилегающего к поверхности ролика;

b — расстояние слоя от поверхности ролика.

Скорость относительного сдвига $\left[\frac{d\varepsilon}{d\tau}\right]$ соответственно равна градиенту скорости $\left[\frac{dv}{db}\right]$.

Снижение вязкости пластичной массы способствует увеличению скорости формования — деформации массы до изделия заданной формы. При формовании изделий на гипсовых или пластмассовых формах снижение вязкости массы легко достигается увеличением ее влажности, но попутно увеличивается и нежелательная прилипаемость массы к поверхности рабочих органов машины. Зависимость сопротивления деформации и ее прилипаемости от влажности керамических масс показана на рис. VII.2.

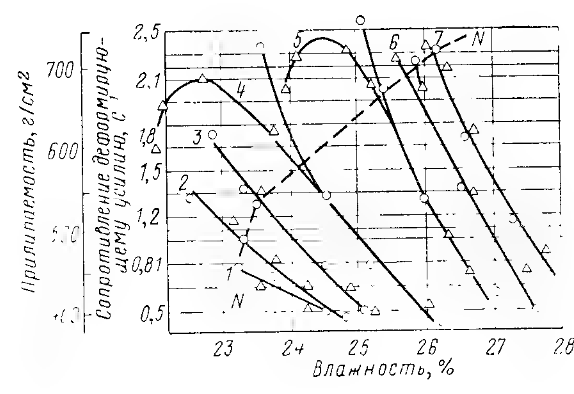


Рис. VII.2. Зависимость сопротивления деформирующим усилиям (по количеству оборотов пластомера) и прилипаемости от влажности масс:

1 — тощая фарфоровая; *2* — средней пластичности; *3* — пластичная; *4* — очень пластичная фарфоровая масса; *5* — тощая фаянсовая; *6* — пластичная; *7* — весьма пластичная фаянсовая масса; ○ — сопротивление деформирующему усилию; △ — прилипаемость

Кроме того, повышение влажности заформованных изделий требует дополнительных затрат времени и тепла на их сушку и сопровождается увеличением отходов производства.

Экономически эффективнее снижать влажность пластичной массы и повышать ее вязкость, применяя более мощные современные полуавтоматы и автоматы.

Однако снижение влажности массы и повышение ее вязкости возможно лишь в довольно узком интервале, за пределами которого начинается пластично-вязкое разрушение структуры массы, вызывающее при дальнейшем повышении вязкости разрывы ее сплошности при деформации. Выбор оптимальной влажности массы в известной мере зависит от конструкции рабочих органов формовочных машин и формы изделий. В процессе формования вращающимся роликом сочетается сдвиг массы, преобладающий у его поверхности, с раздавливанием в глубинных слоях. При формовании плоским шаблоном преобладает сдвиг массы с меньшим ее уплотнением в узкой зоне нажима кромкой шаблона. Поэтому при прочих равных условиях вращающимися роликами можно формовать массы с меньшей влажностью, чем при формовании шаблонами. Оптимальная для типичных фарфоровых изделий влажность массы в среднем находится в пределах, показанных на рис. VII.3 [5]. Допускаемые условиями формования хозяйственного фарфора и фаянса небольшие колебания влажности и более существенные различия в содержании глин и каолинов приводят к небольшим изменениям коэффициента внутреннего трения. Например, фарфоровая масса при влажности 23 и 26% соответственно имеет коэффициенты 0,093 и 0,091, фаянсовая масса с более высоким содержанием глины и каолина при влажности 26,2 и 28,1% — соответственно имеет коэффициенты 0,086 и 0,082.

На структурно-механические (формовочные) свойства керамических масс большое влияние оказывает содержание и дисперсность отощающих добавок — кварца, полевого шпата, шамота (бой изделий). Роль отощающих материалов резко повышается при формовании на шнековых прессах крупногабаритных заготовок,

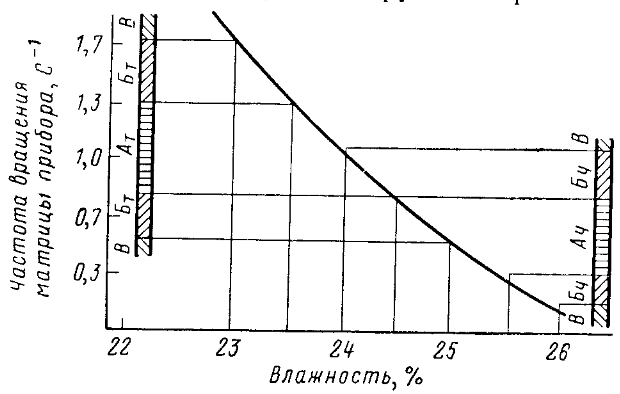


Рис. VII.3. Кривая зависимости формовочной способности массы от влажности. Оптимальные:

$А_т$ — для формования тарелок, $А_ч$ — для чашек. Допустимые: $Б_т$ — для тарелок, $Б_ч$ — для чашек, *В* — непригодные

например, для кислотоупорных изделий, высоковольтных изоляторов (диаметром до 1 м). Некоторые структурно-механические характеристики тонкокерамических масс приведены в табл. VII.1.

Регулирование формовочных свойств фарфоровой или фаянсовой массы изменением содержания глины и каолина ограничивается в узких пределах необходимостью стабилизировать заданный режим обжига и фазовый состав получаемых изделий. Поэтому для улучшения формовочных свойств массы используют более пластичные глины и более тонкие фракции каолина (получаемые при его обогащении), и бентонит, а также подвергают ее вакуумной обработке.

Масса должна быть однородной по содержанию отощающих материалов и влажности, без крупных воздушных включений. Повышение однородности массы способствует стабилизации формовочных свойств в разных частях заготовок (цилиндров, пластов), подаваемых на формование. Необходимые формовочные свойства массы достигаются на фарфоровых и фаянсовых заводах ее обработкой в современных вакуумных массомялках.

Изменение свойств фарфоровой массы, отличающейся от фаянсовой меньшим содержанием пластичной глины и пониженными фор-

Таблица VII.1

Структурно-механические свойства фарфоровой и фаянсовой массы

Массы	Условно-мгновенный модуль упругой деформации $E_1 \cdot 10^{-6}$, Н/м² (мгс/см²)	Модуль полной эластической деформации $E_2 \cdot 10^{-6}$, Н/м² (мгс/см²)
Фарфоровые	0,96—1,06 (9,6—10,6)	0,84—0,53 (8,4—5,3)
Фарфоровые низкоспекающиеся массы УНИИСП . .	0,99—1,01 (9,9—10,1)	0,82—0,91 (8,2—9,1)
Фаянсовые	1,43—3 (14,3—30)	1,67—2,2 (16,7—22)
Массы	**Вязкость $\eta \cdot 10^{-8}$, Н·с/м² (пз)**	**$P\kappa \cdot 10^{-4}$, Н/м (мгс/см²)**
Фарфоровые	32—10,7 (320—107)	0,44—1,2 (4,4—12)
Фарфоровые низкоспекающиеся массы УНИИСП . .	23,8—22,2 (238—222)	1—0,6 (10—6)
Фаянсовые	15—6,6 (150—66)	0,6—1 (6—10)

Примечание. $E_1 = \frac{P}{E_0}$; E_0 - упругая деформация, исчезающая сразу после снятия нагрузки;
E_2 - модуль полной эластической деформации, исчезающей постепенно после снятия нагрузки.

мовочными свойствами, после вакуумной обработки показано в табл. VII.2.

Повышение у вакуумированной массы предела прочности при разрыве позволяет увеличить скорость формования и, следовательно, повысить производительность оборудования.

Изделия, изготовленные из вакуумированных масс, отличаются более высокими техническими характеристиками, чем изделия из масс, обработанных в шнековых массомялках. Весьма существенный эффект от вакуумирования пластичной массы достигается, напри-

Таблица VII.2

Влияние вакуумирования на свойства фарфоровой массы

Показатель	Обработка		
	в горизонтальной массомялке без вакуума	в вакуумной массомялке	
		Вакуум $9,5 \cdot 10^2$, Па	Вакуум $12,6 \cdot 10^4$, Па
Содержание воздуха, % . . .	6,5—9,0	2,86—3,0	2,0—2,3
Средняя плотность, $\times 10^3$ . . .	1,8—1,82	1,86—1,9	1,89—1,92
Предел прочности при разрыве, МПа (кгс/см²)	0,01—0,02 (0,136—0,171)	0,023—0,034 (0,245—0,348)	0,023—0,034 (0,235—0,348)
Удлинение, см/м	3,63—13,7	6,74—19,9	7,45—26,8

Таблица VII.3

Влияние вакуумной обработки фарфоровой массы на свойства обожженных электроизоляторов

Методы обработки	Предел прочности, МПа (кгс/см²)				Пробивная прочность, кВ/мм
	при сжатии	при разрыве	при статическом изгибе	при ударном изгибе	
Промин на бегунках (массомялке Фора)	287 (2920)	20,3 (208)	53,8 (549)	0,17 (1,8)	16,6
Вакуумирование	372 (3790)	23,2 (237)	60 (611)	0,21(2,21)	18,2
Вакуумирование с предварительным подогревом	374 (3816)	24,8 (253)	64,6 (659)	0,23(2,47)	18,5

мер, в производстве кислотоупорной керамики или электроизоляторов (табл. VII.3).

Разнообразное применение пластичных масс в производстве тонкой керамики объясняется их важными преимуществами по сравнению с порошкообразными прессовочными массами и жидкими литейными массами.

От порошкообразных масс, широко используемых в производстве огнеупорного кирпича и фаянсовых плиток, пластичная вакуумированная масса отличается небольшим содержанием воздушных включений и их равномерным тонкодисперсным распределением. Поэтому изделия, заформованные из пластичной массы, имеют при прочих равных условиях более плотную и однородную структуру, чем изделия, отпрессованные из порошкообразной массы.

При формовании изделий деформация пластичной массы в желательном направлении требует небольших усилий. Поэтому формовочные полуавтоматы и автоматы имеют легкую конструкцию и высокую производительность при малом удельном расходе электроэнергии.

Широкий и разнообразный ассортимент изделий, изготовляемых из пластичных масс, является также их важным преимуществом.

Недостатком заформованных из пластичной массы изделий является более высокая их влажность, чем у отпрессованных из порошкообразной массы. Удаление влаги из тонкостенных изделий направленным потоком горячего воздуха или в радиационных сушилках резко снижает продолжительность сушки и влияние повышенной исходной влажности на экономику этого процесса. Пластичная масса отличается от жидкой массы при прочих равных условиях более быстрым темпом формования и сушки изделий. Вместе с тем из шликера можно отлить изделия сложной формы, например салатники, суповые чашки, санитарные и другие изделия, формование которых из пластичной массы невозможно или экономически невыгодно. Отмеченные выше достоинства пластичных керамических масс эффективно реализуются на современных фарфоровых и фаян-

совых заводах с использованием гипсовых или пластмассовых форм, стальных шаблонов и вращающихся профилирующих роликов в станках, полуавтоматах и автоматах разных конструкций.

Способы и особенности технологии формования изделий из пластичной массы. В станках и полуавтоматах разных конструкций основными орудиями для формования изделий из пластичной массы являются гипсовые или другие формы, плоские стальные шаблоны или вращающиеся профильные ролики. В последние годы начинают применять формы из пористых, а ролики — из гидрофобных пластмасс.

Формы в производстве фарфоровой посуды изготавливают из тонко размолотого модельного гипса с частицами величиной не более 0,1 мм (остаток на сите № 0085 не более 2,5%).

Все формы данной партии должны иметь одинаковые размеры и пористость, иначе заформованные на них изделия будут иметь разную толщину, а также деформироваться и давать трещины при сушке из-за неравномерного отсасывания влаги.

Особенно неблагоприятно действует на формы вода, содержащая щелочи. Срок службы в зависимости от качества гипса колеблется около 100 формовок. Механическая прочность гипсовых форм с увеличением их пористости снижается. Впитывающая способность гипсовой формы, обусловливающая отсасывание влаги из формуемого изделия, повышается с увеличением пористости. Пористость форм измеряется их водопоглощением и регулируется количеством воды при затворении гипса. Размеры пор уменьшаются при более тонком помоле гипса.

Техническая характеристика гипсовых форм

Средняя плотность	Около 0,95 г/см^3
Пористость, %	Около 60
Преобладающий диаметр пор, мкм	1—4
Водопоглощение, %	30—40
Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см^2)	2,4—3,9 (25—40)
Срок службы (сколько заформовывает изделий)	Около 100
Влажность формы в процессе формования, %	Не выше 5

Массовое и несложное по технологии производство гипсовых форм методом отливки, недорогое и доступное сырье — важное достоинство этого метода. Равномерно распределенная сеть капилляров обеспечивает единообразный режим начального периода сушки для всех частей заформованного изделия. Однако вследствие недостаточной прочности гипсовых форм во влажном состоянии их поверхность после 50—100 формовок становится шероховатой. Все образовавшиеся углубления воспроизводят соответствующие выступы на поверхности формуемых изделий. Поэтому гипсовые формы приходится заменять, а дефекты на поверхности изделий устранять трудоемкой зачисткой. Довольно длительные поиски более устойчивого материала для изготовления пористых форм в последние годы дали весьма обнадеживающие результаты. Формы, изготовленные из порошкообразного полихлорвинила, имеют при-

мерно такую же пористость, как и гипсовые, но резко отличаются от них большей устойчивостью в процессе формования на них фарфоровых или фаянсовых изделий. По данным ГИКИ, долговечность (оборачиваемость) пластмассовых форм превышала долговечность гипсовых в 4—7 раз, а их масса была меньше примерно в 2 раза. Предельная температура при сушке изделий на гипсовых формах составляет около 70° С, а при полихлорвиниловых может быть поднята до 120° С; можно использовать ускоренные режимы сушки при повышенных температурах. Несмотря на важные преимущества пластмассовых форм, их широкое использование в фарфоро-фаянсовой промышленности сдерживается главным образом дефицитностью и высокой стоимостью сырья и отсутствием на фарфоровых заводах оборудования для приготовления порошков из полихлорвинила и прессования или виброуплотнения его в горячем состоянии. Резкое повышение оборачиваемости перекрывает первоначальные расходы по замене гипсовых форм пластмассовыми. На Дулевском фарфоровом заводе и на фаянсовом имени М. И. Калинина были проверены опытные партии пластмассовых форм для тарелок и чашек в производственных условиях. На основе эксплуатации 4 тысяч форм на Дулевском заводе получены следующие данные.

Оборачиваемость форм для чашек (число формовок)	Около 7000
Оборачиваемость форм для тарелок	Около 5000
Масса формы для чашек, г	570
Масса формы для тарелок, г	630

При столь высокой оборачиваемости использование пластмассовых форм становится выгодным, несмотря на относительно высокую их стоимость. Организация производства пористых пластмассовых форм при налаженных поставках сырья химической промышленностью открывает широкие перспективы усовершенствования формовки фарфора и фаянса со значительным экономическим эффектом.

В гипсовой или пластмассовой пористой форме (рис. VII.4) оформляется наружная поверхность полых изделий, например чашек, а шаблоном (рис. VII.5) — внутренняя.

При формовании тарелок и блюдец формой профилируется внутренняя поверхность, а шаблоном — наружная.

Обжимание пласта или цилиндра фарфоровой массы на поверхности гипсовой формы выполняется воздействием шаблона или иного рабочего органа машины. Эволюция формующих устройств по мере усовершенствования станков и полуавтоматов отмечалась следующими вехами.

Шаблоны изготовляют из стального листа толщиной 7—10 мм в соответствии с контурами формуемого изделия. Стальную пластину шаблона вместе с привинченной к ней деревянной планкой затачивают под углом около 15°. Тонкий шаблон (рис. VII.6, *а*) опускается в радиальной плоскости на фарфоровую массу и своей кромкой уплотняет массу в вертикальном направлении и срезает ее в горизонтальном направлении с накоплением избытка массы перед шабло-

ном. Для формования тонким шаблоном используется масса с влажностью 23–25%. При небольшой толщине шаблона и остром угле заточки процесс формования не сопровождается существенным уплотнением массы и наблюдается значительный сдвиг и срез верхнего ее слоя. Для получения гладкой поверхности изделия масса в заключительной стадии формования смачивается водой, что приводит

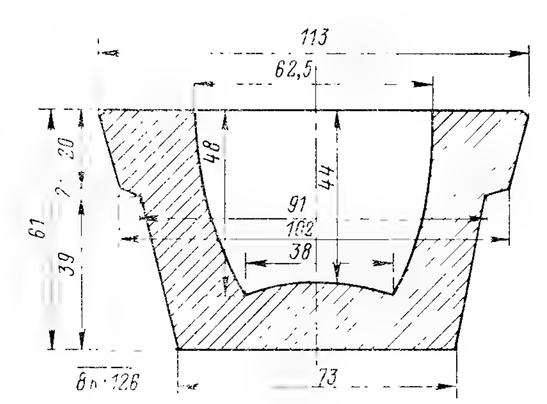


Рис. VII.4. Разрез гипсовой формы

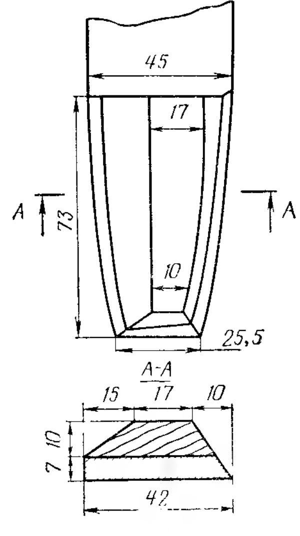


Рис. VII.5. Формующий шаблон

к неравномерной влажности изделия и затруднениям в процессе их сушки. Внедрение в заводской практике более толстых шаблонов с увеличением угла заточки (рис. VII.6, *б*) дало возможность повысить уплотнение массы, снизить ее влажность на 1,5–2%, устранить смачивание ее поверхности водой и снизить деформацию изделий в сушке и обжиге.

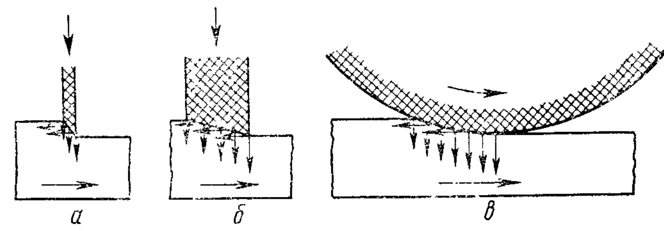


Рис. VII.6. Схема формования:

а, *б* — шаблонами; *в* — роликом

Использование вращающейся формы, подвергающейся разрыву при высоких скоростях под действием центробежных сил, ограничивает число оборотов формовочного шпинделя и скорость формования, а следовательно, и производительность полуавтомата.

Замена вращения гипсовой формы на вращение тройного шаблона с регулируемой скоростью до 20 $с^{-1}$, предложенная в свое время заводом «Фор» (Франция), дает увеличение производительности

одношпиндельного полуавтомата. Кроме того, одновременный нажим на формуемую массу трех радиальных шаблонов вместо одного позволяет формовать тарелки и блюдца из цилиндрической заготовки вакуумированной массы без предварительного формования пласта.

Тройной шаблон при повышенном числе оборотов дает в единицу времени в 7–9 раз больше круговых нажимов на массу, чем один шаблон на формовочном станке с вращающейся формой. Естественно, при этом повышается производительность полуавтомата.

Продолжительность цикла формования тарелок на полуавтомате с вращающимися шаблонами на второй скорости — 6 с (рис. VII.7).

Первые полуавтоматы для формования тарелок и блюдец тройным шаблоном, выпущенные заводом «Фор», а затем в новой конструкции заводом «Дорст» (ФРГ), имели некоторые недочеты.

Одношпиндельные формовочные станки и двухшпиндельные полуавтоматы для формования чашек, чайников, тарелок и блюдец плоским

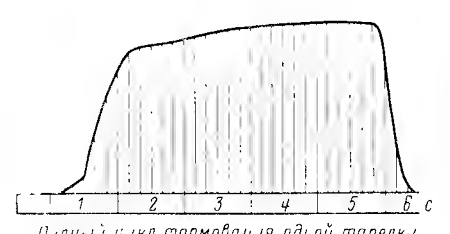


Рис. VII.7. Циклограмма формования тарелок тройным шаблоном

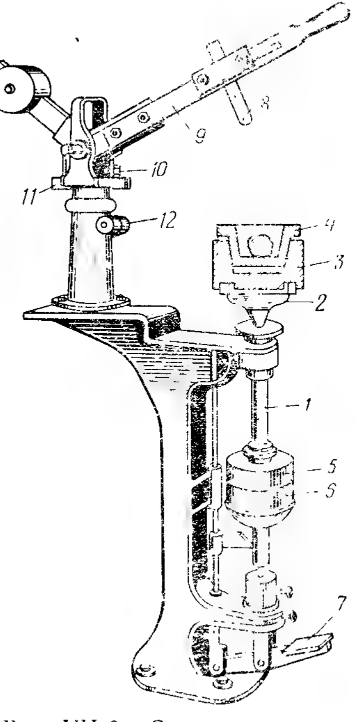


Рис. VII.8. Схема одношпиндельного формовочного станка

шаблоном, послужившие отправными моделями для разработки более сложных машин, в настоящее время применяются главным образом в производстве полых изделий сложной формы, а также небольших партий плоских изделий.

Формование полых фарфоровых и фаянсовых изделий (например чашек) плоским шаблоном осуществляется следующим образом.

На шпинделе *1* (рис. VII.8) станка закрепляют с помощью крестовины *2* патрон *3* с коническим гнездом для вкладывания гипсовой формы *4*. Форма имеет коническую наружную поверхность, заклинивается в патроне и вращается вместе с ним при переключении ременной передачи с холостого шкива *5* на рабочий *6* с помощью педального пускового устройства *7*.

Формовочный стальной шаблон *8*, подобранный по форме внутренней поверхности чашки, закрепляется на качающемся наклоне *9*.

Формовщик забрасывает в гипсовую форму заготовленный на пласторезке или окатанный вручную ком массы и, включив станок, опускает наклон вниз, постепенно погружая шаблон в формуемую массу.

При вращении формы *4* масса нажимом шаблона распределяется по внутренней ее поверхности. Толщина образующихся при этом стенок чашки определяется закреплением шаблона в наклоне и контролируется с помощью специального калибра, вкладываемого в форму при наладке шаблона. Толщина донышка в чашке определяется установкой болта *10*, ограничивающего движение наклона вниз. В заключительной стадии формования внутренняя поверхность чашки заглаживается шаблоном, при этом в зону формования подают несколько капель воды.

Избыток массы вытесняется, образуя над верхней кромкой формы бахрому, которую затем срезают специальным ножом на уровне верхней плоскости формы.

При изготовлении изделий с расширяющейся книзу полостью последняя формуется сложным движением шаблона. Для этого стойка станка *11* освобождается от зажима *12* и получает возможность поворачиваться около вертикальной оси.

Гипсовую форму с заформованной чашкой после остановки станка снимают с патрона и укладывают на полку конвейерной сушилки, а подсушенную пустую форму снимают с конвейера и вкладывают в патрон. Дальше цикл формования повторяется. Все операции формования на станках выполняются вручную, и потому высококачественные изделия получаются лишь при наличии у формовщика необходимых навыков, требующих длительной подготовки.

Особенность формования плоских изделий — тарелок и блюдец — при использовании плоских шаблонов заключается в том, что по общепринятому ранее способу процесс начинается с формования круглого пласта, который должен обладать равномерной влажностью и однородной структурой.

Английская фирма «Сервис» в 1950 г. запатентовала способ формования плоских изделий с применением вращающихся профильных роликов. Эта фирма, как и некоторые другие фирмы, выпустила полуавтоматы в разных конструктивных вариантах для формования тарелок, блюдец и чашек вращающимися роликами.

Усовершенствованная технология формования с использованием вращающегося формующего ролика в современных полуавтоматах отличается от формования плоскими шаблонами. Вместо нажима на пластичную массу и частичного ее среза кромкой шаблона ролик уплотняет и раскатывает массу на гипсовой форме (см. рис. VII.6, *в*), чем обеспечивается бóльшая однородность структуры заформованного изделия и снижается количество отходов массы. Ролик, показанный на рис. VII.9, предназначен для формования плоских изделий (тарелок и блюдец разных размеров) и вращается в подшипнике качающегося наклона полуавтомата. В начальный период формования цилиндр фарфоровой массы раздавливается центральной частью ролика. Затем масса раскатывается по всей поверхности формы

роликом при отклонении его оси от вертикали до совмещения участка *А—Б* с горизонтальной плоскостью донышка формуемой тарелки. При этом поверхностью ролика на участке *А—В* формуется борт тарелки заданного профиля. Наиболее сложные деформации претерпевает масса при формовании ножки изделия кольцевой канавкой вращающегося ролика. Вытесняемая из центра масса пере-

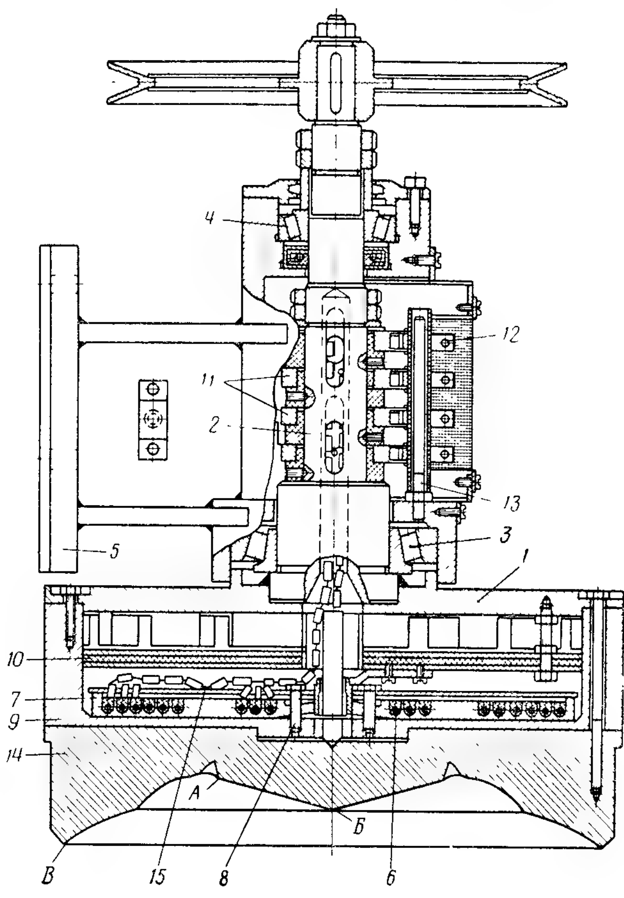


Рис. VII.9. Конструкция формующего ролика

текает через эти канавки в сложных и еще недостаточно изученных условиях ее деформации между вращающейся формой и вращающимся профилирующим роликом.

Ролик для формования тарелок состоит из сменного профильного диска, закрепленного вместе с электронагревательным устройством на диске *1* шпинделя *2*, вращающегося в роликовых подшипниках *3* и *4* кронштейна *5*.

Электронагрев профильного ролика осуществляют нихромовыми спиралями *6*, которые уложены в пазах диска *7* в керамической изоляции. Диск *1* закреплен шурупами *8* к днищу цилиндрической ко-

робки *9*. От диска *1* и шпинделя *2* электронагреватель изолирован теплоизоляционной прокладкой *10*. Отводы от спиралей *6* подведены к коллекторным кольцам *11*, к которым при вращении ролика подается ток через щеткодержатели *12*, закрепленные на шпильке *13*. Температуру нагрева ролика *14* контролируют термопарой *15* и регулируют изменением силы тока, подаваемого в спирали нагревателя. При формовании вращающимися роликами полых изделий (например, чашек, пиал) наблюдаются процессы деформации раздавливания и раскатывания массы на внутренней (в данном случае) поверхности формы в соответствии с профилем изделий. Для устранения прилипания пластичной массы к формующему ролику используются электронагрев, жирные смазки, а в последние годы — ролики из гидрофобных пластмасс. Устройство для электронагрева ролика усложняет его конструкцию, а также эксплуатацию полуавтоматов. Равномерное распределение жирной смазки на поверхности ролика связано с дополнительными устройствами или ручной операцией. Наличие на изделии жирной пленки в какой-то мере отражается на режимах широко используемой скоростной сушки. Поэтому ролики из гидрофобных пластмасс, не нуждающихся ни в электронагреве, ни в жирной смазке, в последние годы начали широко использоваться при формовке фарфоровых и фаянсовых изделий. При формовании чашек фторопластовыми роликами можно получить изделия с влажностью 21—22% вместо 25—27% при формовании их плоскими шаблонами. В зависимости от формы изделий применяются полуавтоматы с принудительным вращением формовочных роликов от индивидуальных моторов и со свободным вращением за счет трения о поверхность формуемой массы.

Формование изоляторов в стальных постоянных формах имеет по сравнению с формованием в съемных гипсовых формах ряд технико-экономических преимуществ, что послужило основанием к разработке конструкций и освоению полуавтоматов для формования телеграфных и опорных изоляторов по новой технологии. Отличительной особенностью этого способа формования является использование разъемных телескопических или цанговых (рис. VII.10) форм и фарфоровой массы пониженной влажности, что дает возможность вытолкнуть заформованные изоляторы из формы без резко выраженной их деформации [6].

В телеграфных изоляторах формование кольцевых ребер выполняется наружным вращающимся штемпелем, а формование и нарезка центрального отверстия — винтом, совершающим вращательное и возвратно-поступательное движение.

Цанга имеет продольный разрез шириной 2 мм.

При подъеме нижнего зажимного конуса *1* цанга *2* сжимается; при опускании цанга разжимается. В момент формования изделия цанга сжата; в момент выталкивания изолятора пуансоном *3* цанговая форма расходится.

Отделение изделия от стенок цанги в момент ее разжатия происходит по принципу развертки, что уменьшает влияние присасывания массы к стенкам цанги.

Во избежание прилипания вращающихся пуансонов к массе последние смазываются эмульсией, состоящей из 75% керосина и 25% скипидара.

В телескопических металлических формах выталкивание изоляторов после формования облегчается путем поочередного отделения изолятора от поверхности отдельных элементов формы *1*, *2*, *3* комбинированным выталкивателем *4*.

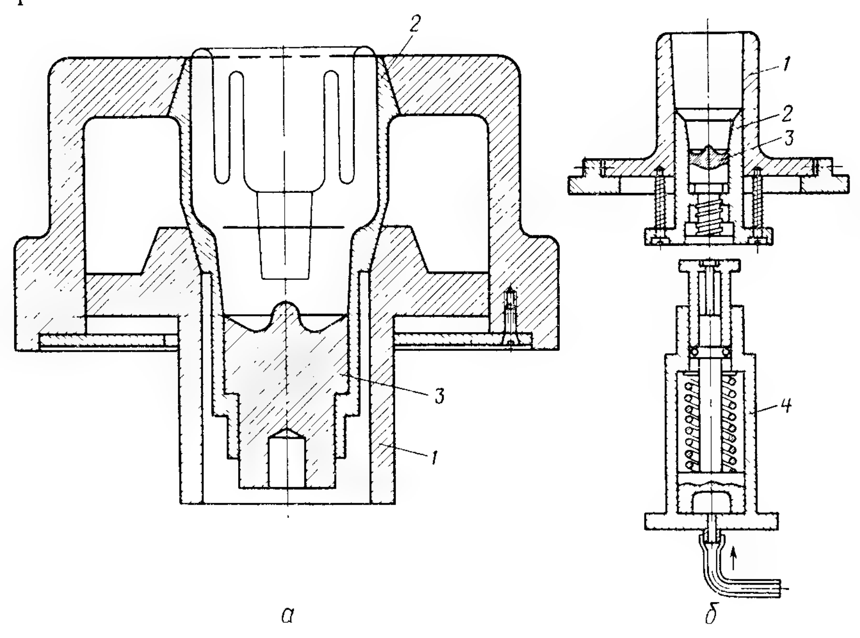


Рис. VII.10. Стальные формы для фарфоровых изоляторов:

а — цанговая, *б* — телескопическая

Весьма разнообразный ассортимент и сложная форма тонкокерамических изделий обусловили применение разнообразного оборудования для их формования. В пределах этой главы будет приведено описание лишь типичных конструкций полуавтоматов, получивших широкое применение в разные периоды развития техники фарфоро-фаянсовой промышленности. Важнейшие технико-экономические характеристики оборудования разных типов для удобства сопоставлений сведены в отдельные таблицы. Более подробный анализ отдельных конструктивных вариантов приводится в специальных учебных пособиях и монографиях [6].

Полуавтоматы для формования полых изделий. Двухшпиндельные полуавтоматы для формования полых изделий плоскими шаблонами. Первой машиной, предложенной заводом «Фор» для механизации формования чашек, был двухшпиндельный полуавтомат с качающимися наклонами, в котором механизированы опускание и подъем шаблона, смачивание массы водой и обрезка края. Подача форм на станок, за-

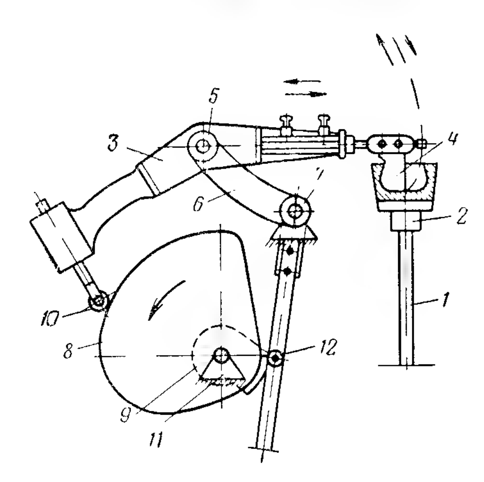


Рис. VII.11. Кинематическая схема двухшпиндельного полуавтомата для формования чашек

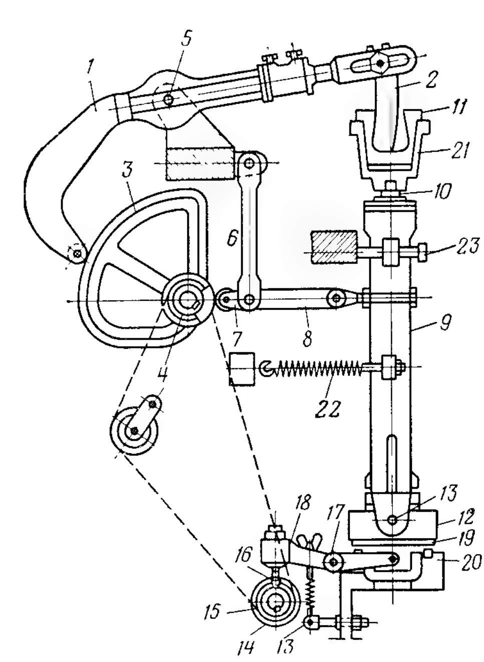


Рис. VII.12. Кинематическая схема полуавтомата с качающимися шпинделями

грузка в них массы, съемка форм с изделиями и подача их в сушилку производятся вручную.

На основе этой машины были сконструированы и изготовляются разные конструктивные модификации двухшпиндельных полуавтоматов для формования чашек и тому подобных полых изделий.

Эти машины изготовляются в разных конструктивных вариантах. На рис. VII.11 показана кинематическая схема полуавтомата этого типа. В передней части станины установлены два шпинделя *1*, имеющие чугунные патроны *2*. Качающиеся наклоны *3* с шаблонами *4* поворачиваются около подвижной оси *5*, которая укреплена на конце кронштейна *6*, вращающегося вправо и влево около оси *7*. На главном поперечном валу полуавтомата закреплены две пары эксцентриковых кулачков *8* и *9*. При вращении эксцентрика ролик *10* наклона *3* поднимается, а шаблон *4* опускается и распределяет массу по периферии вращающейся в патроне *2* формы *11*. После опускания шаблона кулачок *9* нажимает на ролик *12* рычага и поворачивает кронштейн *6* против часовой стрелки, перемещая ось *5* и наклон *3* с шаблоном *4* вправо.

Шаблон сначала опускается вниз и формует дно изделия, а затем перемещается вправо и заканчивает формование стенки изделия до заданной толщины. Таким образом, на полуавтоматах можно формовать полые изделия любой расширяющейся книзу формы, если шаблон при подъеме не задевает края отформованного изделия. В конце формования изделия поверхность массы смачивается водой, которая подается под шаблон из напорного бака с помощью двух плунжерных насосов, закрепленных на боковых плоскостях станины. Край заформованного изделия обрезают натянутой на вилку стальной струной. Подача воды и обрезка края изделия управляются двумя парами кулачков, насаженных на горизонтальный вал полуавтомата.

Кулачки закреплены на главном валу под углом 180°, благодаря чему циклы формования смещены. Вкладывание форм и выемка их из формодержателей каждого шпинделя выполняются поочередно одним рабочим.

Кроме работающих по описанной выше схеме двухшпиндельных полуавтоматов, в фарфоро-фаянсовой промышленности применяются более современные полуавтоматы с качающимися шпинделями завода А. Вольф (рис. VII.12). В этих полуавтоматах горизонтальное смещение шаблона в форме достигается небольшим отклонением от вертикали шпинделя с вращающейся в его патроне формой.

В полуавтоматах с качающимися шпинделями предусмотрено тормозное устройство, снижающее число оборотов шпинделя во время вкладывания в патрон очередной формы, благодаря чему скорость вращения шпинделя при формовании на 30—50% больше, чем у полуавтомата без тормозного устройства.

У этой машины выключение фрикционного сцепления и торможения шпинделя осуществляются автоматически. Имеются также существенные изменения в конструкции привода шпинделя и наклона полуавтомата.

Наклон *1* опускает шаблон *2* в форму и выполняет начальную фазу формования при вращении против часовой стрелки кулачка *3*, насаженного на распределительный вал *4*. Наклон *1* поворачивается вокруг неподвижной оси *5*. Во второй стадии формования кулачок *6*, сидящий на том же валу *4*, нажимает на ролик *7*, отклоняет через тягу *8* корпус *9* с вращающимся шпинделем *10* вправо и таким образом прижимает стенку вращающейся формы *11* к шаблону *2*, заканчивая формование.

Шпиндели приводятся в движение от электродвигателя через полуперекрестную передачу и фрикционное сцепление.

Во время отклонения шпинделя от вертикальной оси ремень передачи от двигателя не успевает сойти со шкива *12* шпинделя, так как корпус *9* имеет незначительный поворот вокруг оси *13*, почти совпадающей с серединой ременного шкива *12*. Автоматическое (вместо педального) торможение и кратковременная остановка шпинделя осуществляются кулачком *14*, сидящим на оси звездочки *15* и приводимым в движение цепной передачей от вала *4*. К концу формования кулачок *14* подходит к ролику *16* и поворачивает вокруг оси *17* рычаг *18*. Правое плечо этого рычага, опуская вниз диск *19* фрикционного сцепления, переводит шкив *12* на холостой ход и прижимает диск фрикциона к тормозным пробкам *20*, чем достигается необходимое для безопасной смены форм уменьшение частоты вращения шпинделя *10*.

В конце периода, отведенного для смены гипсовой формы *11* в патроне *21*, ролик *16* начинает сходить с кулачка *14*. Рычаг *18* действием пружины поворачивается против часовой стрелки, приподнимая диск *19* фрикциона, сцепляет непрерывно вращающийся шкив *12* со шпинделем и сообщает ему высокую скорость на время формования. При этом кулачок *6* сходит с ролика *7* и шпиндель пружиной *22* отклоняется влево в исходное положение, фиксируемое регулировочным болтом *23*.

На полуавтоматах, установленных рядом с выносными ветвями конвейерных сушилок, достигается высокая производительность труда вследствие минимальных затрат времени на загрузку форм в патрон полуавтомата и укладку заформованных изделий на полку конвейера.

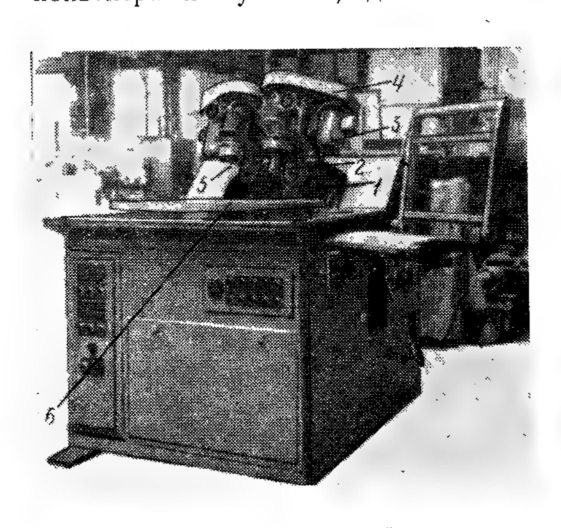


Рис. VII.13. Двухшпиндельный полуавтомат с вращающимся столом для подачи форм

Полуавтоматы с вращающимися роликами. В полуавтоматах этого типа (рис. VII.13) на качающемся рычаге *1* вместо плоского шаблона смонтирован вращающийся ролик *2* с индивидуальным электромотором *3* и клиноременной передачей, закрытой кожухом *4*. Полуавтоматы с вращающимися формовочными роликами выпускаются в разных конструктивных вариантах: с одним и двумя формующими шпинделями, с одним или двумя вращающимися столами для подачи гипсовых форм. Для лучшего использования рабочего времени формовщиков и заводской площади используются преимущественно двухшпиндельные полуавтоматы. Полые изделия в зависимости от их размеров и конфигурации могут формоваться в один прием или в две стадии. В последнем варианте предварительное формование выполняется роликом *5* упрощенной формы, а окончательное — профильным роликом *2*. При двухстадийном формовании вращающийся стол *6* периодически поворачивается на одну позицию и выдает одно заформованное изделие, а также передает частично оформленное изделие под профилирующий ролик *2*. В двухшпиндельных полуавтоматах, работающих по одностадийному циклу формования, стол должен поворачиваться сразу на две позиции. При быстрых темпах формования возникают затруднения с одновременной съемкой двух заформованных изделий и укладкой двух пустых гипсовых форм. Поэтому для одностадийного формования чашек используются полуавтоматы с двумя вращающимися столами

Таблица VII.4

Техническая характеристика роликовых полуавтоматов для чашек

Показатель	Двухшпиндельный полуавтомат с одним вращающимся столом для двухстадийного формования	Двухшпиндельный полуавтомат с двумя вращающимися столами для одностадийного формования
Производительность (расчетная), шт./ч	600—1440	1000—1400
Частота вращения шпинделей (регулируемая), $с^{-1}$	—	10—23,3
Мощность электромоторов для привода, кВт:		
шпинделей	2×0,5	2×0,8
формовочных роликов	2×0,37	—
Общий привод для вращающегося стола и опускания рычагов с роликами	1,1	0,8
Расход энергии на обогрев формующих роликов, кВт	2×1	—
Масса, кг	1980	1200
Габарит, мм:		
длина	2025	1400
ширина	1330	2000
высота	1720	1500

и поочередно опускающимися формовочными роликами (табл. VII.4). В заводских условиях производительность полуавтоматов зависит не только от предусмотренного по паспорту машины часового количества формовок, но и от организации работы и транспортных устройств на участке загрузки и разгрузки форм в полуавтоматах и спаренных с ними сушилках.

Полуавтоматы и автоматы для формования шаблонами тарелок, блюдец и капселей. Для формования тарелок и блюдец за последние 30 лет были предложены машиностроительными заводами полуавтоматы и автоматы разных конструкций. Большинство опробованных на фарфоровых и фаянсовых заводах полуавтоматов не получили широкого распространения главным образом из-за высокой стоимости, неполной автоматизации основных и вспомогательных операций и как следствие — незначительной экономической эффективности.

В одношпиндельных полуавтоматах, изготовленных заводом «Фор» (Франция), применяются тройные вращающиеся шаблоны. Гипсовые формы из сушилки подаются на рольганг полуавтомата, на них вручную накладывается цилиндр фарфоровой массы. Далее форма поднимается к вращающемуся шаблону. Сама форма не вращается, а высокая производительность полуавтомата (360—720 тарелок и блюдец в час) достигалась за счет ускорения частоты вращения шаблонов (16,66—20 $с^{-1}$).

При испытании такой машины на Дулевском фарфоровом заводе подтвердилась высокая производительность полуавтомата и выяснились некоторые его недостатки. Конструкция машины оказалась

довольно сложной в связи с устройством пульверизаторов на вращающемся диске тройного шаблона и установкой на станине небольшого ротационного компрессора. Из-за недостаточной жесткости станины полуавтомат имел вибрации при формовке. Вследствие более высокого удельного давления на гипсовых формах по сравнению с ручной формовкой потребовались весьма прочные гипсовые формы, производство которых в те годы еще не было организовано. Результаты испытания первой модели были учтены машиностроительным заводом «Фор», и второй вариант полуавтомата отличался от первой модели жесткой монолитной станиной и другими конструктивными улучшениями.

Завод «Дорста» по лицензии завода «Фор» выпустил полуавтомат с вращающимся столом для подачи форм под вращающийся тройной шаблон. При испытании этой машины выявилась неудовлетворительная конструкция механизма формования и связанная с этим необходимость периодической остановки полуавтомата для удаления накопляющихся обрезков массы. Хотя полуавтоматы с тройным вращающимся шаблоном и не получили широкого распространения в фарфоро-фаянсовой промышленности, их появление было важным этапом технического прогресса в области формования посуды. Была установлена возможность формования тарелок и блюдец тройным вращающимся шаблоном непосредственно из цилиндров массы, минуя трудоемкий процесс предварительного приготовления пластов большого диаметра. Эти идеи были в дальнейшем использованы при конструировании полуавтоматов с вращающимися формующими роликами.

Двухпозиционный полуавтомат фирмы «Миллер Поттери» (США) является дальнейшим этапом автоматизации формования плоских изделий [6]. В этой машине впервые была предложена простая конструкция автоматического питателя для отрезки цилиндров массы из непрерывно подающегося по наклонному лотку бруса фарфоровой массы. Благодаря точно отрегулированному наклону лотка цилиндр массы опускался на гипсовую форму, подаваемую пульсирующим конвейером. Процесс формования изделий выполнялся в два приема на двух позициях. На первой позиции цилиндр массы обжимался матрицей на гипсовой форме, а на второй формование заканчивалось плоским шаблоном. Вторым пульсирующим конвейером заформованные изделия подавались к сушилке. Полуавтомат имеет легкую конструкцию, смонтирован на колесной тележке и рассчитан на серийный выпуск тарелок и блюдец разных фасонов. Основные конструктивные узлы полуавтомата — автоматическая подача массы на формы и двухстадийный процесс формования — были использованы этой фирмой при разработке конструкции самых производительных многосекционных формовочно-сушильных автоматов. По такому же принципу был сконструирован и двухпозиционный полуавтомат для формования чашек.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия роликовых полуавтоматов для формования тарелок и блюдец. Формование тарелок и блюдец в один прием с помощью вращающегося шаблона получило

дальнейшее развитие в конструкции роликовых полуавтоматов. Эти машины появились недавно, но уже получили применение на фарфоровых и фаянсовых заводах СССР, Англии, Чехословакии, ГДР и других стран. Сапожковским заводом МЛП, СССР и зарубежными машиностроительными фирмами «Сервис» (Англия), «Тюрингия» (ГДР), «Нетч» (ФРГ) и другими выпускаются одношпиндельные и двухшпиндельные роликовые полуавтоматы: двухшпиндельный с двумя поочередно опускающимися формующими роликами и одношпиндельный с четырехпозиционным вращающимся столом. Двухшпиндельный роликовый полуавтомат по своему устройству и работе напоминает двухшпиндельные полуавтоматы с качающимися наклонами, используемые для формования чашек, но отличается от них устройством формующего механизма и конструктивным выполнением остальных узлов машины.

Конструкторским бюро ОМА-45 (г. Дулево) был разработан и внедрен на заводах СССР роликовый полуавтомат АСФ-07 для формования тарелок диаметром 240 мм стальными роликами. Он стал базовой моделью семейств полуавтоматов этого типа, используемых также для формования тарелок меньших диаметров, блюдец, тарелочных и блюдечных капселей и тому подобных фарфоровых и фаянсовых изделий.

На рис. VII.14 показаны кинематическая схема и вид сбоку полуавтомата АСФ-07.

Полуавтомат состоит из следующих механизмов и узлов:

1) вращающегося подъемного стола *1* с четырьмя гнездами для подачи форм *2* под вращающийся формующий ролик *3*, где форма опускается в гнездо формодержателя *4*;

2) приклона, на котором смонтированы формующая головка *5* с роликом *3*, электродвигатель *6* со встроенным в его корпусе редуктором *7*, клиноременной передачей *8* и *9* и противовес *10*;

3) механизма, управляющего качанием и боковым поворотом приклона *11*, а также подъемом и опусканием стола. Этот механизм состоит из электродвигателя *12*, клиноременной *13* и червячных *14* и *15* передач кулачкового вала *16*. Кулачок *17* поворачивает приклон *11* вокруг оси *18* и поднимает и опускает формующую головку *5*. Следующий кулачок *19* через рычаг *20* и тягу *21* управляет боковым наклоном формующего ролика *3*. Кулачок *22* через рычаг *23* управляет подъемом и опусканием стола *1*. Второй червячной передачей *15* и *14* приводится валик *24*, кулачок *25* которого управляет с помощью рычага *26* тормозом *27* шпинделя *28*. Через коническую передачу *29* и мальтийский крест *30* и *31* выполняется периодическое поворачивание стола *1* на 90°;

4) механизма привода шпинделя *28*, вращающего форму *2*. Он состоит из электродвигателя *32* с редуктором и клиноременной передачей *33*. На шпинделе *28* закреплен формодержатель *4*.

Поворотом и опусканием стола *1* форма вкладывается в гнездо формодержателя *4*, а затем включается привод шпинделя и производится формование тарелки. После окончания формования тарелки и обрезки края шпиндель останавливают, форма снимается с формо-

а

б

Рис. VII.14. Двухшпиндельный роликовый полуавтомат:

а — кинематическая схема; *б* — боковой вид

держателя очередным подъемом стола *1* и переносится на следующую позицию, с которой и передается формовщиком в сушилку. Включение и выключение привода шпинделя выполняется через конечный выключатель электродвигателя кулачком распределительного вала;

5) формующей головки с формующим роликом *5*. Она смонтирована на приклоне, качающемся около оси *18* кулачком *17* вала *16*.

Формующий ролик вращается от электродвигателя *6* с встроенным редуктором *7* через клиноременную передачу *8* и *9*. Поворот формующего ролика для распределения массы от центра формы *2* к периферии выполняется кулачком вала *16*, через рычаг *19* и тягу *21*.

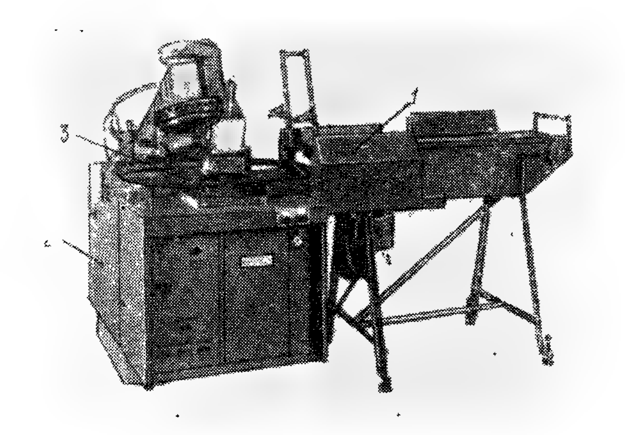


Рис. VII.15. Полуавтомат для формования тарелок с автоматической отрезкой пластов массы

На полуавтомате АСФ-07 можно, заменяя формующие ролики и формодержатели, формировать тарелки и блюдца разных размеров и фасонов.

На основе этой базовой конструкции спроектирован полуавтомат для формования тарелочных и блюдечных капселей из шамотной массы. Он отличается от полуавтомата АСФ-07 отсутствием вращающегося стола для подачи форм в гнездо формовочного шпинделя, компактной и менее сложной конструкцией. Ручная подача форм примерно в 2 раза снижает производительность этого полуавтомата по сравнению с полуавтоматом АСФ-07.

Учитывая, что повышение скорости формования не всегда может быть использовано при выполнении ручных операций одним рабочим, фирма «Сервис» и некоторые другие сконструировали к полуавтоматам с вращающимся столом устройства для автоматической укладки дисков массы на гипсовые формы в двух вариантах. При загрузке форм дисками, отрезанными от цилиндрического бруса вакуумированной массы, автоматический питатель (фидер) *1* (рис. VII.15) приставляется к полуавтомату *2* и сбрасывает отрезанный диск на очередную форму, подаваемую вращающимся столом *3*.

Второй, более сложный вариант устройства разработан для заводов, использующих керамические массы, которые могут давать существенную деформацию изделий при сушке и обжиге из-за неблагоприятной ориентации частиц глинистых компонентов в процессе их обработки в вакуум-прессе. Для устранения неблагоприятной ориентации предложен возврат к промежуточной операции формования пласта, но в механизированном варианте, не требующем дополнительного ручного труда. В установке фирмы «Сервис» между автоматом *1* (рис. VII.16), который отрезает диски из цилиндра

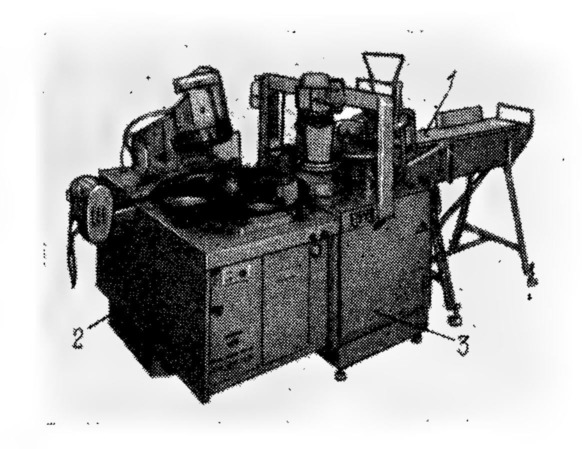


Рис. VII.16. Полуавтомат для формования тарелок с автоматической отрезкой и раскаткой пластов

вакуумированной массы, и формовочным автоматом *2* устанавливается автомат *3* для раскатки цилиндра массы в пласт большего диаметра и его укладки на гипсовую форму.

Установка автоматического питателя освобождает формовщика от операции накладки диска массы на форму. Автомат для изготовления пластов устраняет довольно трудоемкие ручные операции по их формованию на отдельных станках или полуавтоматах. Техническая характеристика такого полуавтомата приведена в табл. VII.5.

Автоматы для формования электрофарфора. Фарфоровые изоляторы для сетей низкого и высокого напряжения формуются в зависимости от ассортимента и объема производства на станках-полуавтоматах и автоматах в гипсовых и стальных формах.

Длительный срок службы стальных форм, широкие возможности механизации формовки при использовании массы с пониженной влажностью являются важными их преимуществами. В виде примера приводим описание метода автоматического двухстадийного формования подвесных высоковольтных изоляторов, а также устройства и работы двух автоматов для реализации этого процесса в автоматизированной поточной линии: автомата для формования кони-

Таблица VII.5

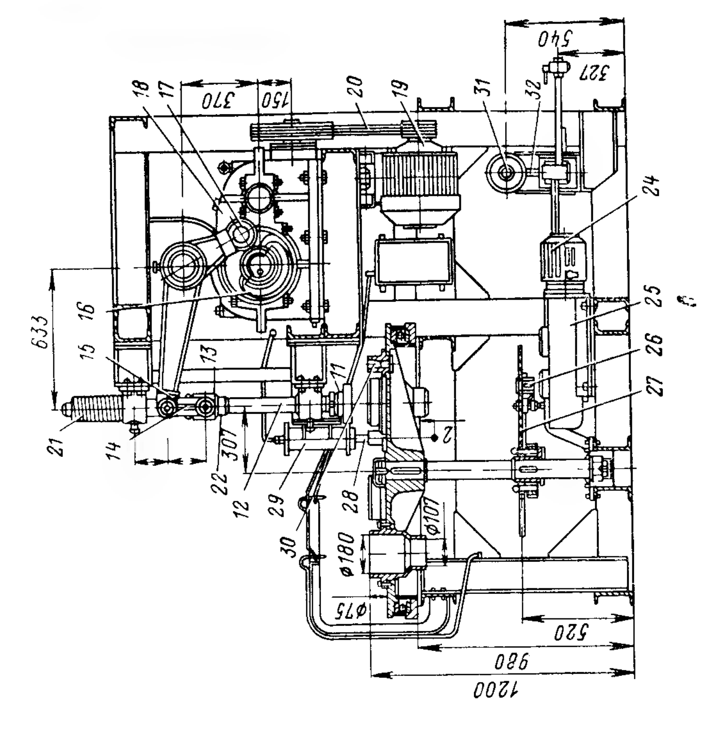
Техническая характеристика роликовых полуавтоматов для формования плоских изделий

Показатель	АСФ-07 для тарелок	АСФ-14 для блюдец	АСФ-5 для тарелочных капселей	Двухшпиндельный фирмы «Нетч»	Одношпиндельный фирмы «Сервис»
Производительность (по количеству формовок), шт./ч	480	240	180÷300	370—720	До 720
Максимальный диаметр изделий, мм	240	350	330	—	—
Частота вращения шпинделя, $с^{-1}$	5—5,8	3,3	5,1	3,6—5,1	4,66—10
» » формующего ролика, $с^{-1}$	4—6,5	2,1	1,66—3,3	2,1—3,5	4,1—7,5
Мощность электродвигателей, кВт:					
привода шпинделя	0,6	0,6	1	0,15	1,0
» формующего ролика	0,6	0,6	0,6	0,27	0,27
стола и распределительного вала	1	1	1	—	—
Мощность нагревателя формующего ролика, кВт	3	3	0,1	—	—
Габарит, мм:					
длина	1610	1470	1340	2300	4380
ширина	1585	1300	1120	1300	1150
высота	1594	1530	1670	1500	1658
Масса, кг	1540	1350	1050	1700	2400
Количество рабочих, занятых подачей форм и загрузкой их в сушилку	1	1	1	1	1

ческих заготовок пластичной массы и автомата для формования из них изоляторов.

На вращающемся столе *1* (рис. VII.17) первого автомата закреплено пять форм *2*, в которые на позиции *I* во время остановки стола загружаются поступающие по наклонному лотку *3* цилиндры массы *4*. Перемещение цилиндра массы с лотка до совмещения с отверстием формы выполняется воздушным цилиндром питателя *5*, на штоке которого посажен толкатель *6* серповидной формы со щекой *7*, задерживающей при проталкивании очередного цилиндра опускание остальных цилиндров массы по лотку *3*. Поверхность формы *2* и верхнее основание цилиндра массы *4* покрываются с помощью форсунок *8* и *9* тонким слоем смазки, что исключает прилипание фарфоровой массы к форме и штемпелям *10* и *11* прессующего механизма.

На позициях *II* и *III* масса в два приема запрессовывается штемпелями *10* и *11*, насаженными на штоки *12*, которые с помощью муфт *13*, подвесок *14* и коленчатых рычагов *15* связаны с кулачками *16* и *17*. Кулачки *16* и *17* насажены на валу редуктора *18* и приводятся в движение электродвигателем *19* через передачу *20*. В положении кулачка *16*, показанном на рисунке, штемпели *10* и *11* под-



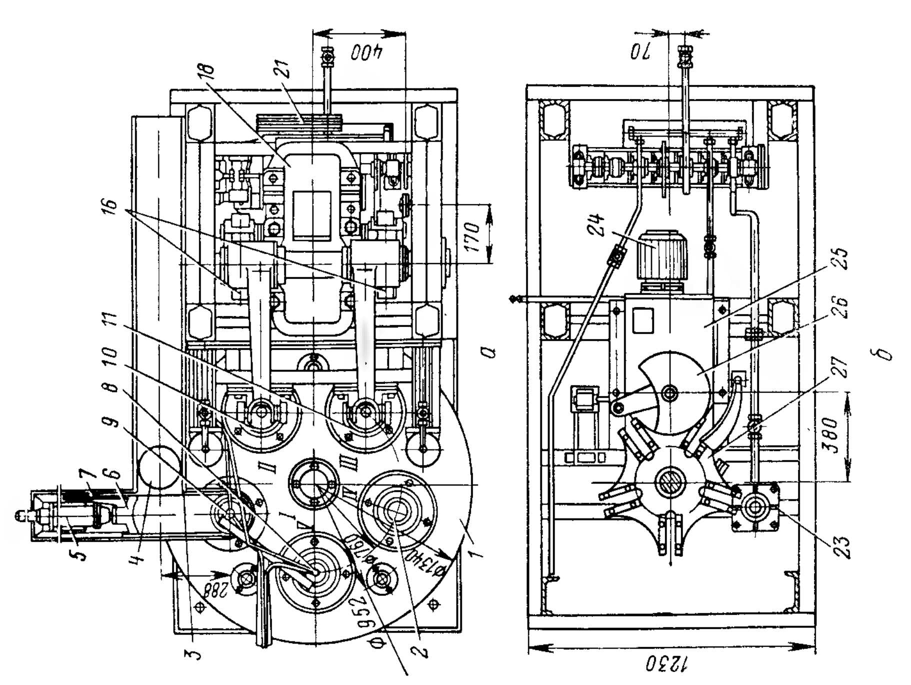


Рис. VII.17. Схема автомата для формования конусообразных заготовок:
а — вид сверху; *б* — механизм поворота стола; *в* — разрез

держиваются в верхнем положении пружинами *21*. При поворачивании кулачка *16* происходит запрессовывание массы в формы до заданных размеров заготовки. Штоки *12* имеют в местах соединения с муфтами *13* резьбу и с помощью гаек *22* могут устанавливаться на разной высоте, чем регулируется степень запрессовки массы в первой и второй стадиях процесса. На позиции *IV* происходит выталкивание заготовки массы (в виде усеченного конуса) из формы *2* с помощью пневматического цилиндра-выталкивателя *23* и съем захватом переставителя, связывающего описываемый автомат с автоматом, формующим подвесные изоляторы.

Привод периодически вращающегося стола *1* состоит из электродвигателя *24* и механизма мальтийской звездочки *25*, *26* и *27*.

Точное совмещение форм *2* с механизмами запрессовывания и выталкивания заготовок достигается с помощью конических фиксаторов *28*, насаженных на штоках воздушных цилиндров *29* и входящих в гнезда *30* стола *1* при его остановках.

Синхронизация работы пневматических приводов (воздушных цилиндров) с работой вращающегося стола и запрессовывающего механизма выполняется распределительным валом, на котором насажены кулачки *31*. Распределительный вал связан цепной передачей со звездочкой, насаженной вместе с кулачком *16* на выходном валу редуктора *18*. Кулачки, нажимая в заданное время цикла на ролики золотниковых клапанов *32*, включают или выключают подачу воздуха в цилиндры питателя *5* воздушного цилиндра *29* стопорного механизма, выталкиватель *23* и форсунки *8* и *9*.

Автомат для формования подвесных изоляторов имеет много общего с автоматом для формования заготовок подвесных изоляторов в конструкции вращающегося стола, механизма подачи пуансонов, приводов и распределительного механизма воздушных цилиндров. Поэтому, не останавливаясь на конструкции узлов, аналогичных узлам описанного выше автомата, отметим особенности, обусловленные способом формования подвесных изоляторов в стальных формах.

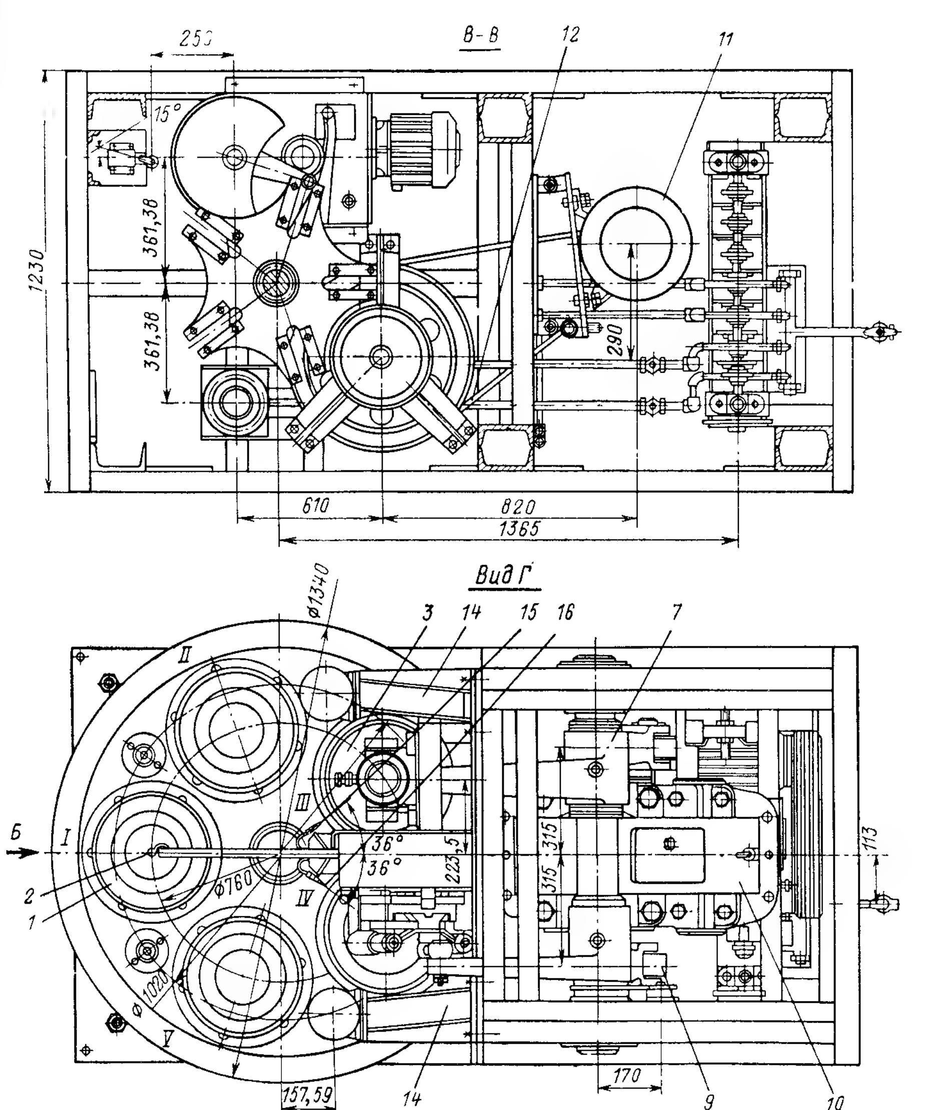
На позиции *I* стальные формы *1* (рис. VII.18) покрывают смазкой, распыляемой пульверизатором *2*. На позиции *II* в форму вкладывают ком массы, подготовленный на предшествующем автомате.

При работе автоматов в составе непрерывно-поточной линии эта операция выполняется автоматически переставителем, а в других условиях — вручную.

На позиции *III* масса запрессовывается в форму первым штемпелем *3* с формованием центрального углубления.

На позиции *IV* выполняется формование ребер изолятора и расширяющаяся книзу полость для закрепления штыря. Этот довольно сложный процесс выполняется комбинированным взаимодействием двух штемпелей *3* и *4* с массой, запрессованной во вращающейся форме. Ползуны, на которых закреплены штемпели, совершают возвратно-поступательное движение в направляющих *5* и *6* с помощью коленчатых рычагов *7*, тяги *8*, кулачкового механизма *9* и редуктора *10*.

Вращение формы с запрессованной в нее массой выполняется специальным приводом, состоящим из электродвигателя *11*, клиноременной передачи *12* и фрикционного сцепления шпинделя привода и формы, включаемого и выключаемого с помощью воздушного цилиндра *13*. Получающийся при формовании избыток массы («обрезки») удаляется из зоны формования через лотки *14*. Прилипание массы к штемпелям устраняется подачей смазки пульверизаторами *15* и *16*.



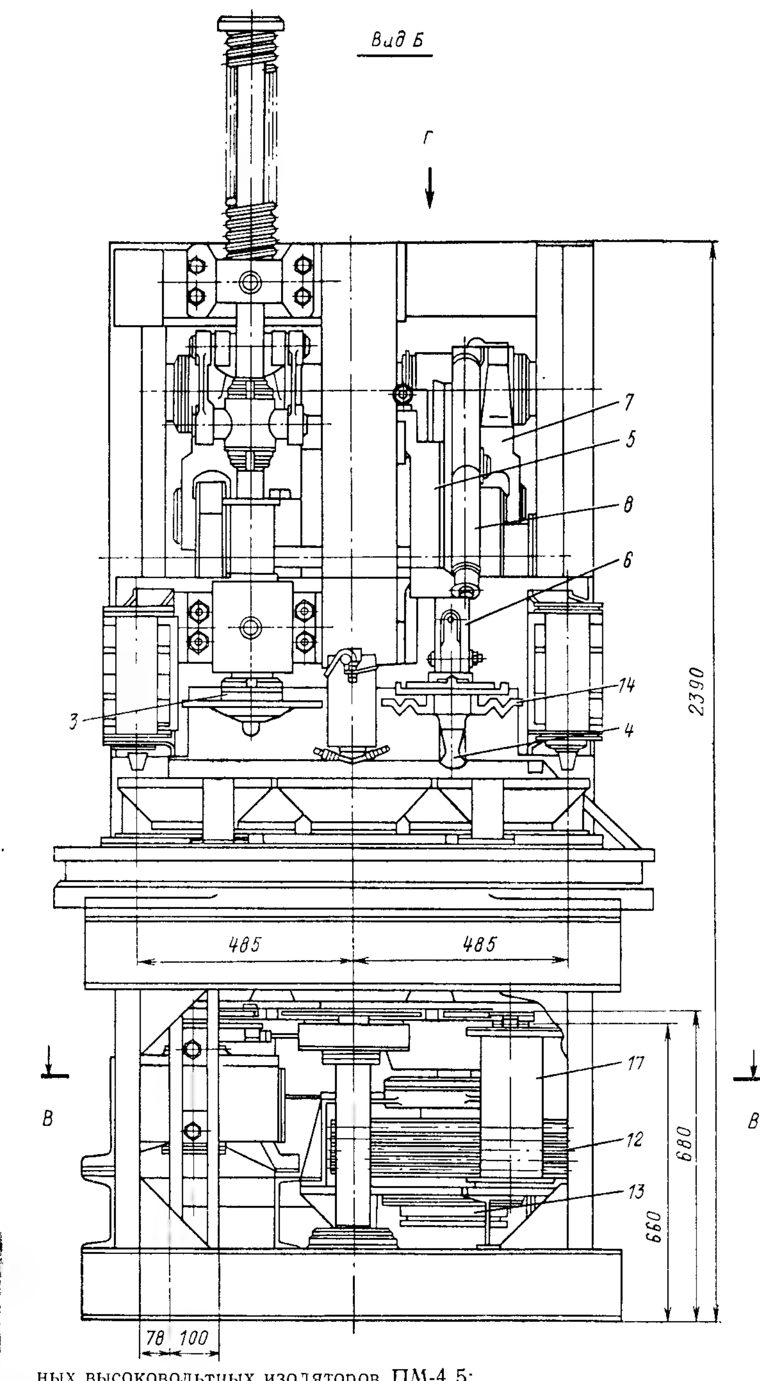


Рис. VII.18. Схема автомата для формования подвесных высоковольтных изоляторов ПМ-4,5:

а — вид сверху; *б* — вид сбоку

Заформованные изоляторы выталкиваются на позиции *V* телескопическим выталкивателем последовательно по частям, отделяющимся от изолятора. Выталкиватель закреплен на штоке воздушного цилиндра *17*.

Рабочая поверхность формы разделена на четыре концентрических, входящих друг в друга элемента, которые передвигаются в корпусе цилиндрических направляющих выталкивателя [7].

Разделение большой поверхности формы на отдельные элементы, у которых сила сцепления с изделием будет невелика, даст возможность поочередно отделить их от заформованного изолятора без существенной деформации последнего.

При опускании штока воздушным цилиндром *17* все элементы формы последовательно опускаются в исходное положение.

Техническая характеристика автоматов для формования подвесных изоляторов ПМ-4,5

	Автомат для формования изоляторов	Автомат для формования конических заготовок
Производительность, шт./ч	165	165
Продолжительность цикла, с	21,8	—
Усилие прессования, Н	60 000	60 000
Высота подъема пуансона прессования, мм	200	170
Усилие формования, Н	15 000	60 000
Высота подъема пуансона формования, мм	150	170
Частота вращения формы, $с^{-1}$	4,33	—
Высота подъема штока выталкивателя, мм	105	275
Мощность электродвигателя привода стола, кВт	0,6	0,6
Мощность электродвигателя для вращения форм, кВт	4,5	—
Диаметр воздушного цилиндра, мм	150	—
Ход штока, мм	110	—
Усилие на штоке, Н	7000	—
Мощность электродвигателя для привода пуансонов, кВт	2,8	2,8
Частота вращения пуансона, $с^{-1}$	5	—
Диаметр цилиндра выталкивателя, мм	125	100
Ход штока выталкивателя, мм	130	—
Усилие выталкивания, Н	4900	3140
Диаметр цилиндра пневматических фиксаторов, мм	80	80
Ход штока пневматических фиксаторов, мм	75	75

Ф о р м о в о ч н о - с у ш и л ь н ы е   а в т о м а т ы. Во всех полуавтоматах, в разное время применявшихся в производстве хозяйственного фарфора и фаянса, механизирована операция формования, а в наиболее совершенных моделях фирмы «Миллер Поттери» (США) и «Сервис» (Англия) еще и отрезка пласта или цилиндра массы и загрузки их в гипсовую форму. Подача форм в полуавтомат и вместе с заформованными изделиями обратно в конвейерную сушилку выполняется

вручную и на современных заводах облегчается подводом выносных ветвей конвейера сушилки к полуавтоматам. Расход рабочей силы по сравнению с формованием на одношпиндельных станках снижается в 2—3 раза, а перестановка форм не требует рабочих высокой квалификации. Невысокая производительность полуавтоматов (500—600 формовок в час) приемлема для небольших заводов с разнообразным ассортиментом, когда для формования однотипных изделий требуется 2—3 полуавтомата. Поэтому машиностроительные заводы ГДР, ФРГ, Франции и Англии, снабжающие оборудованием фарфоро-фаянсовую промышленность, ориентируются главным образом на производство полуавтоматов. На заводах большой мощности, характерных для США и бурно развивающейся в 1965—1975 гг. фарфоро-фаянсовой промышленности СССР, возникла необходимость замены многочисленных полуавтоматов высокопроизводительными формовочно-сушильными автоматами, в которых многошпиндельный (от четырех до 15 шпинделей) автомат объединен с сушилкой в соответствующее число автоматически работающих линий.



Рис. VII.19. Полка сушилки автомата со сменными подставками для форм

Впервые формовочно-сушильные автоматы были созданы машиностроительной фирмой «Миллер Поттери» в США [8]. Производительность этих автоматов может в отдельных моделях изменяться от количества сблокированных с сушилкой формовочных линий. Первая модель автомата [8, 9] имела 8 линий и производительность 105 000 изделий, а вторая 12 линий и производительность 168 000 изделий разного ассортимента в сутки при трехсменной работе и десяти формовках в минуту.

Формовочно-сушильные автоматы фирмы «Миллер Поттери» являются наиболее эффективными для массового производства посуды благодаря высокой производительности, обеспечивающейся большим количеством линий в одном агрегате, и разнообразному ассортименту одновременно формуемых изделий. Любая линия может путем замены формующего инструмента и гипсовых форм налажена на выпуск изделий иного типа, не приостанавливая работы автомата. Эта особенность автоматов подобного типа позволяет использовать их для одновременного формования в одной установке разнообразного ассортимента как плоских, так и полых изделий: например, чашек, блюдец, салатников, полоскательниц, тарелок. При смене на некоторых линиях ассортимента формуемых изделий алюминиевые подставки *1* (рис. VII.19) на полках *2* конвейера сменяются на подставки, соответствующие размерам нового комплекта форм.

Конвейерная сушилка автомата (рис. VII.20) имеет свободный пролет *1* между смежными ветвями *2* конвейера *3*, проходящего через камеру *4*. В камере *4* подвяливаются чашки и другие изделия,

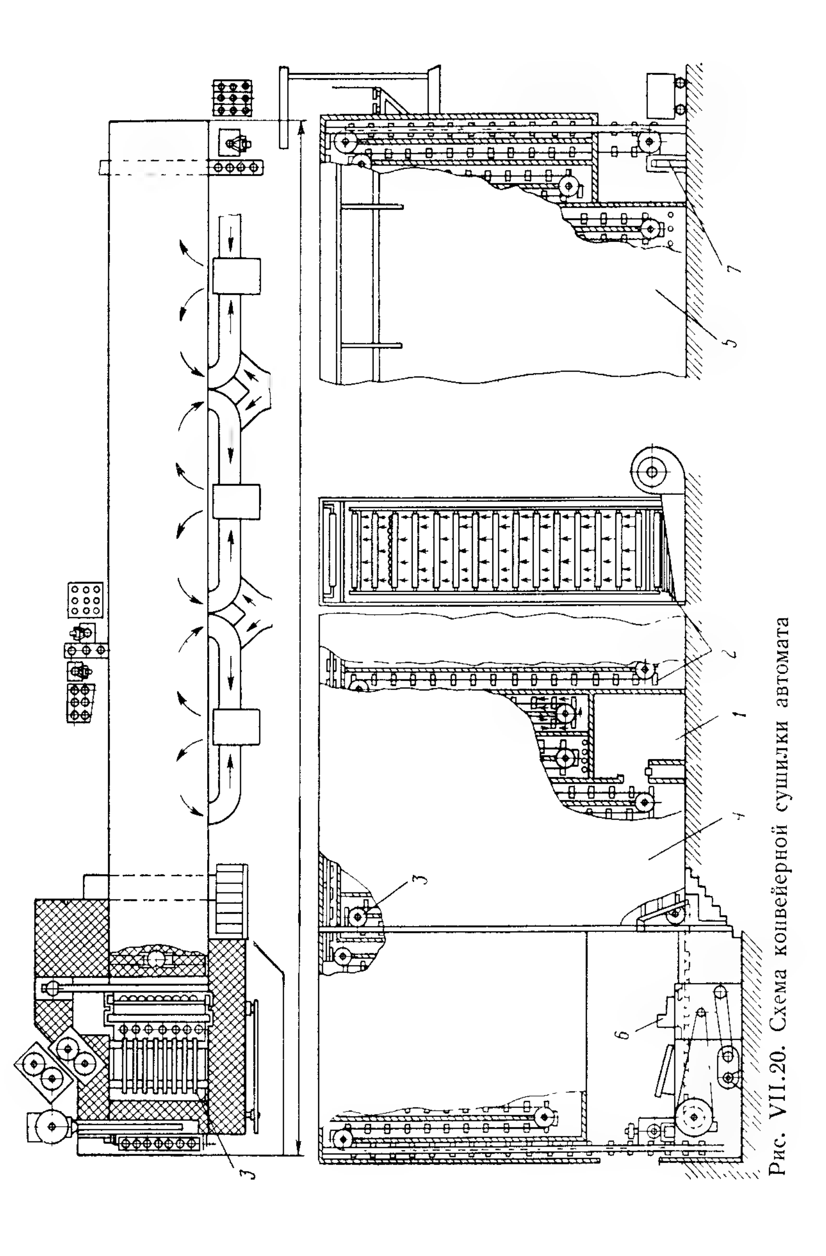


Рис. VII.20. Схема конвейерной сушилки автомата

которые подвергаются предварительной обработке (оправка, приставка ручек) перед окончательной сушкой в камере *5*. В пролете *1* камера *4* имеет окна для выемки из форм чашек на оправку и для приставки ручек и их возврата на окончательную сушку.

Блюдца, салатники, тарелки и тому подобные изделия, заформованные на автомате *6*, обтекают на конвейере пролет *1* и досушиваются в камере *5* на формах. После съемки изделий на транспортер *7* формы возвращаются конвейером в формовочный автомат *6*.

Загрузка цилиндров вакуумированной массы, получаемых из массозаготовительного цеха, в питатели формовочной машины выполняется обычно одним рабочим (рис. VII.21). Отрезка дисков *1*

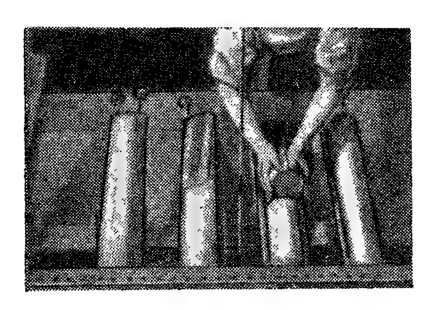


Рис. VII.21. Загрузка автомата цилиндрами массы

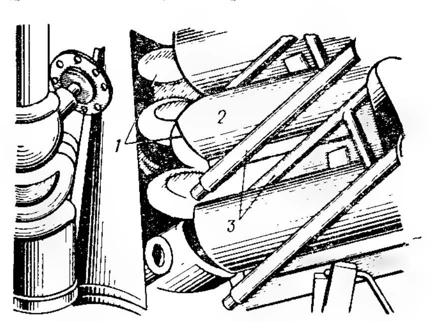


Рис. VII.22. Отрезка дисков массы

массы (рис. VII.22) из цилиндров *2* и их укладка в формы автоматизированы несложными и надежными механизмами *3*. В формовочном автомате предусмотрены пульсирующее перемещение конвейерных полок с формами и две позиции для предварительного и окончательного формования. Открытая площадка над горизонтальной ветвью конвейера, проходящей через формующую часть автомата, позволяет использовать любые формующие инструменты, шаблоны, штемпели, ролики. Простая конструкция автоматов и надежность их работы на заводах США открывают благоприятные перспективы для использования установок этого типа в автоматизированных линиях наших заводов. По этой схеме ЦКБ УМИ Мосгорсовнархоза под руководством инженеров Г. Н. Скворцова и Л. Д. Штеренсона разработало конструкцию шестилинейного формовочно-сушильного автомата для тарелок. Две секции автомата были изготовлены и переданы заводу имени М. И. Калинина для уточнения параметров формования фаянса.

Формовочно-сушильный автомат состоит из конвейерной сушилки и формовочной машины, работающих от синхронизированных приводов. Автомат снабжается цилиндрами фаянсовой массы из установленного рядом вакуум-пресса. Основные узлы автомата: питатель *1* (рис. VII.23), отрезающий диски фаянсовой массы и укладывающий их на гипсовые формы, механизм *2*, опрессовывающий фаянсовую массу на гипсовой форме, и формующий механизм

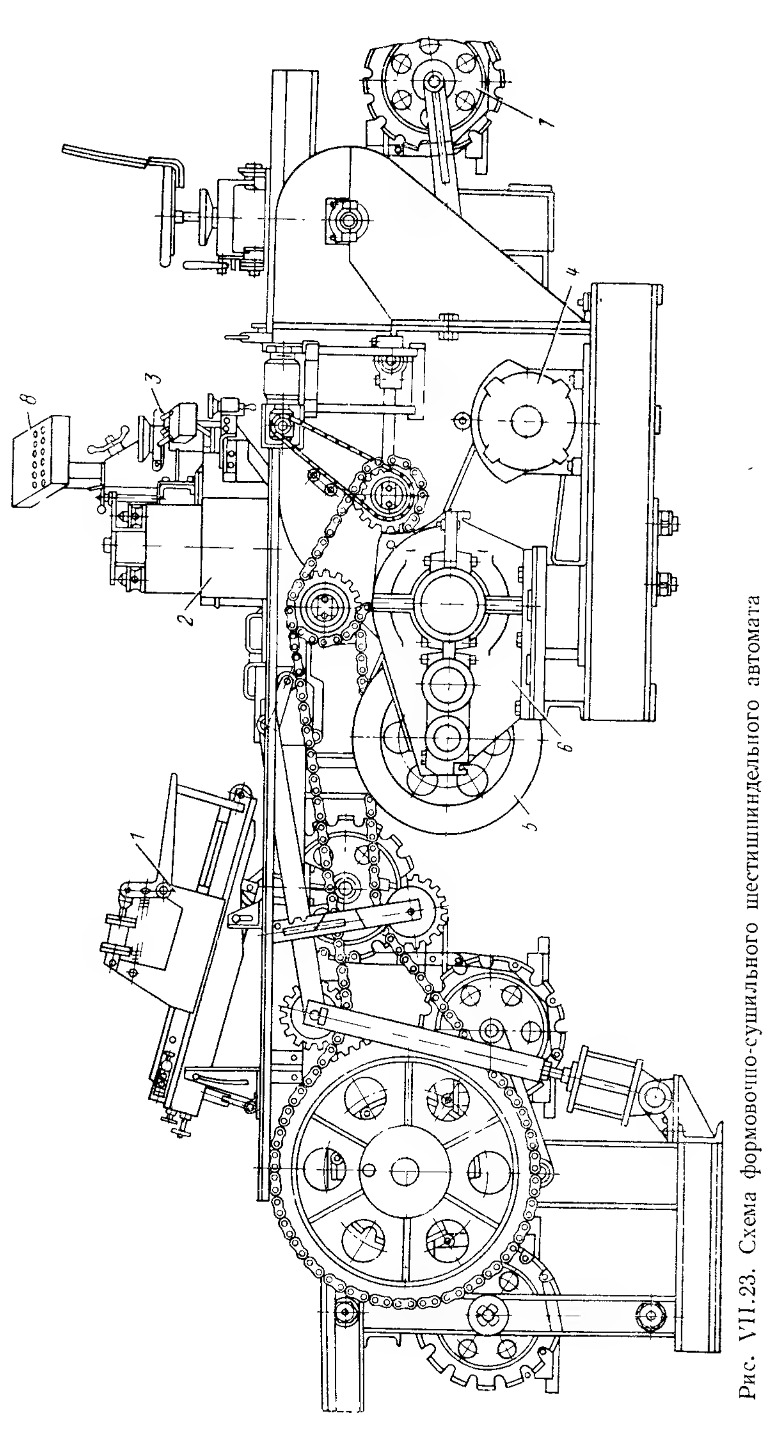


Рис. VII.23. Схема формовочно-сушильного шестишпиндельного автомата

3, завершающий процесс с помощью шаблонов и других устройств.

В конструкции питателя, прессующего и формующего механизмов предусмотрена возможность быстрой переналадки автомата при изменении ассортимента изделий. Привод автомата состоит из электродвигателя *4*, клиноременной передачи *5* и редуктора *6*. Привод *7* конвейера сушилки имеет компенсирующие и блокирующие устройства, обеспечивающие непрерывное движение конвейера в сушилке и пульсирующее — в формовочной машине. Люлька конвейера имеет сменные поддоны, используемые при изменении ассортимента формуемых изделий. В машине предусмотрены командоаппарат *8* и возможность регулирования работы шаблонов.

Питатель-пласторезка автомата (рис. VII.24) состоит из секционного ленточного транспортера *1*, смонтированного на наклонной раме *2*. Наклон в пределах 15° и высота подъема концевого ролика *3* питателя регулируется болтовым креплением рамы в пазах кронштейнов *4*. Регулирование положения транспортера по горизонтали выполняется перемещением боковин транспортера в направляющих *5* рамы *2* с помощью винта с маховичком *6*.

Цилиндры вакуумированной массы укладываются на транспортер и непрерывно подаются к позиции *II* первого подъема гипсовых форм, где отрезаются диски массы заданной толщины и укладываются на формы. Отрезка дисков массы производится вилкой *7*, вращающейся вокруг оси *8* с помощью тяги *9* и пневматического цилиндра. При опускании вилки *7* кусок фаянсовой массы отрезается струной *10*, натянутой между наконечниками *11* и зажатой винтами *12*. Вилка *7* возвращается в исходное верхнее положение пружиной *13*. Подача цилиндра массы, а следовательно, и толщина отрезаемого диска массы регулируются механизмом *14*, периодически перемещающим желобчатую ленту второй секции транспортера с заданным шагом. Управление механизмами подачи бруса и отрезки диска производятся от поворота рычага *15* при подходе последующей гипсовой формы *16* на позицию *I*. Положение питателя относительно гипсовой формы регулируют при наладке автомата с таким расчетом, чтобы диски ложились в центре формы. Если на позицию загрузки массы подойдет полка без формы, рычаг *15* и привод транспортера не срабатывают, и диск массы не будет подан в пустое гнездо полки. Механизм подачи бруса массы состоит из пневматического цилиндра с пружинным штоком, рычага и зажима, посредством которого движение передается транспортеру, подающему цилиндр массы к позиции отрезки пласта.

Узел предварительного обжима дисков массы на гипсовых формах состоит из закрепленных под верхней балкой пресс-форм и коленорычажного механизма для подъема гипсовых форм под пресс-формы. Этот механизм рассчитан на относительно большие усилия прессования и состоит из рычагов *1* и *2* (рис. VII.25) и шатуна *3*. Шатун *3* совершает возвратно-поступательное движение при вращении двустороннего кулачка *4*. Ролики *5* и *6* смонтированы на качающихся серьгах *7*, *8* и связаны тягами *9* и пружинами *10*. В поло-

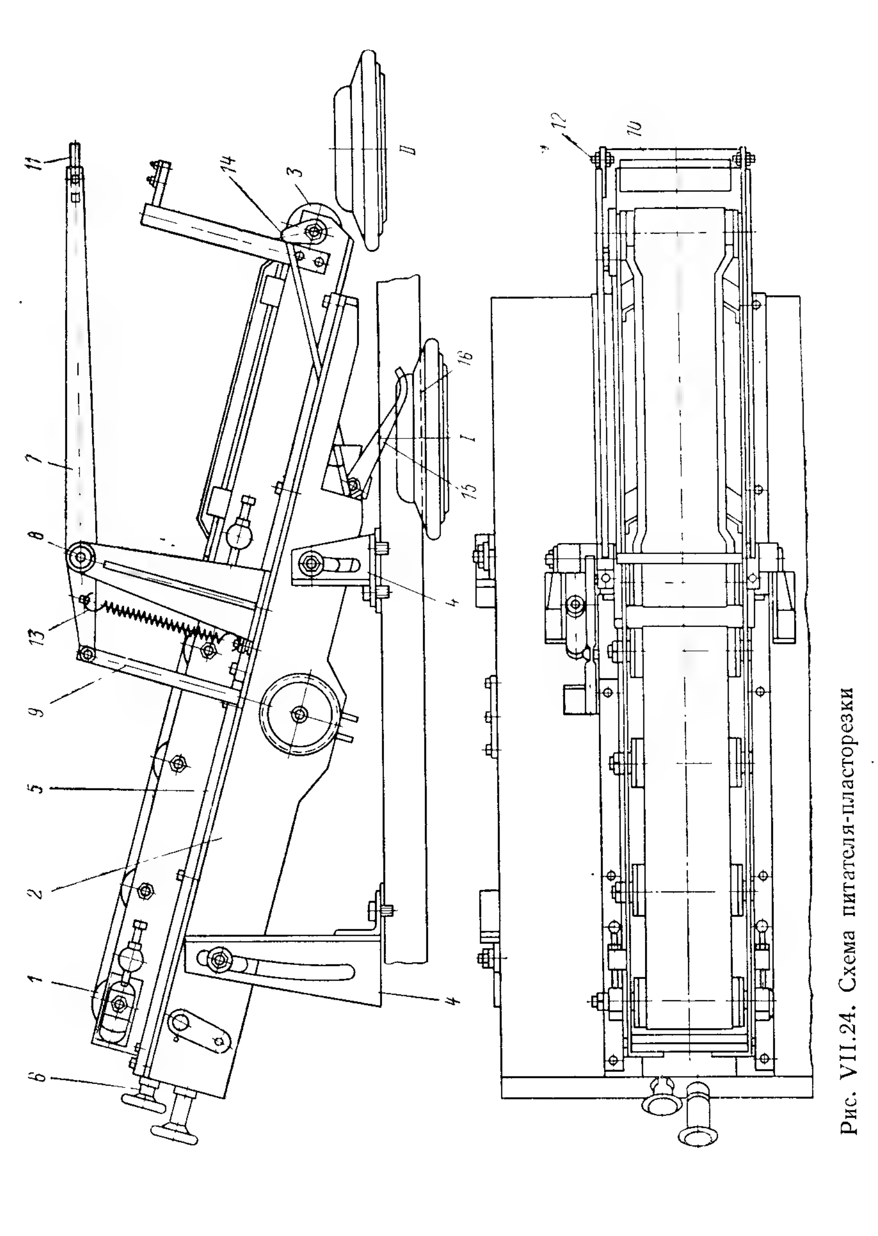


Рис. VII.24. Схема питателя-пласторезки

жении рычагов *1* и *2*, изображенных на рис. VII.25, гипсовые формы находятся внизу. При движении шатуна *3* влево и совмещении осей рычагов с вертикалью гипсовые формы с дисками массы прижимаются снизу к сменным пресс-формам, закрепленным с помощью регулирующих клиньев. При этом масса уплотняется и, растекаясь по гипсовой форме, дает грубый контур обратной стороны тарелки или блюдца. Пресс-форма имеет электрообогрев с терморегулятором.

Оборудование на позиции окончательной формовки изделий состоит из следующих механизмов: формовочных головок с шаблонами, устройств для обрезки изделий, дозаторов-распылителей для увлаж-

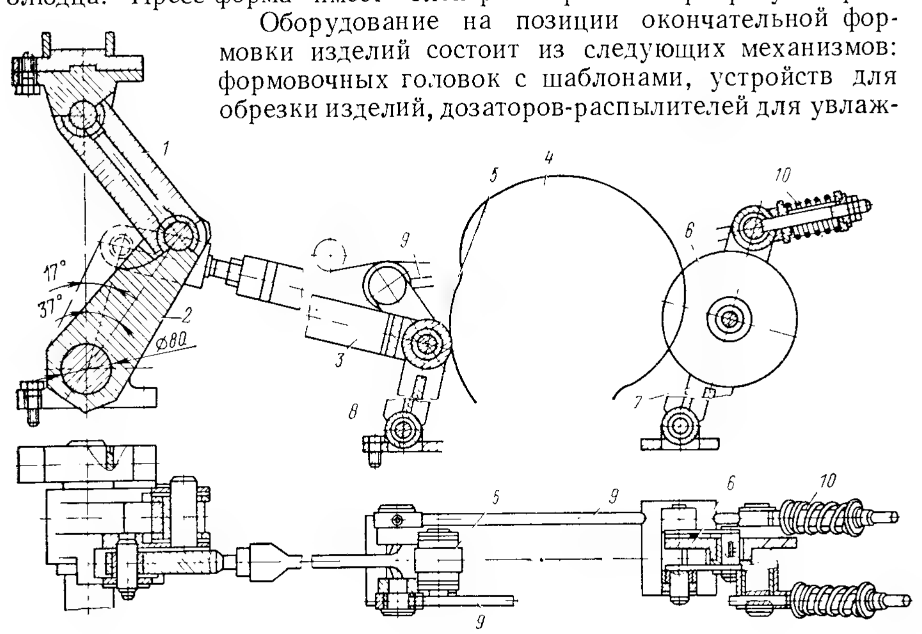


Рис. VII.25. Схема механизма предварительного обжима дисков массы

нения поверхности формуемой массы, привода и фрикционных муфт, выполняющих подъем гипсовых форм, их вращение при формовке и затем опускание на полки конвейерной сушилки, траверсы с коробкой передач и коленорычажным механизмом для подъема форм и транспортера для удаления отходов (обрезков) массы при формовании.

Шпиндель *1* (рис. VII.26) формовочного механизма смонтирован в пустотелой обойме, которая совершает возвратно-поступательное движение вверх и вниз в направляющих *2*, закрепленных в чугунном корпусе *3*, установленном на станине автомата. На шпинделе *1* закреплен патрон *4*, который проходит через отверстие в полке конвейерной сушилки, захватывает лежащую на ней гипсовую форму *5* с обжатым пластом массы и подает ее к формовочной головке.

Подъем обоймы со шпинделем до контакта с пресс-формой выполняется траверсой *6*, которая имеет пластины *7*, входящие в прорези обойм *8*. При этом движении шпинделя форма *5* садится в патрон *4* и включается отсос воздуха через патрубок *9* и шланг, присоединенный к распределительной трубе вакуум-насоса. Уплотнение

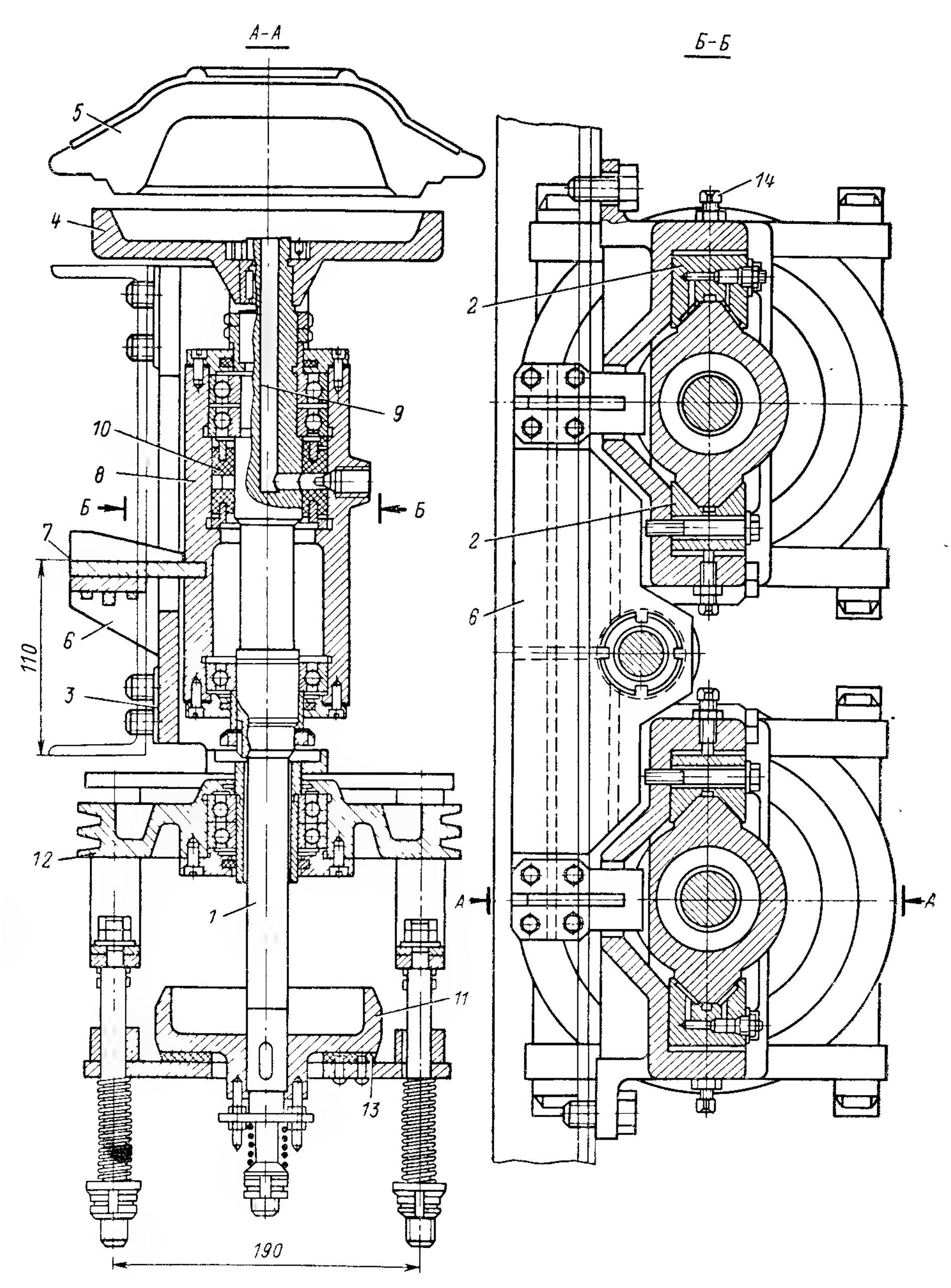


Рис. VII.26. Схема формовочного механизма

канала для отбора воздуха в шпинделе обеспечивается манжетами *10*. При дальнейшем движении формы вверх (не показанной на чертеже) нижней траверсой приподнимаются закрепленные на шпинделях *1* фрикционные диски *11*, которые в верхнем положении входят в кольцевые пазы непрерывно вращающихся клиноременных шкивов *12*, и таким образом, включается зацепление шпинделей с приводными моторами автомата.

По окончании формования шпиндели опускаются, фрикционные диски *11* садятся на тормозные кольца *13*, и вращение шпинделей приостанавливается. Гипсовые формы с изделиями опускаются на полки конвейера и уносятся последним в камеру сушилки. При формовании фарфоровой и фаянсовой посуды имеет большое значение центровка шпинделей относительно осей формовочных головок, а также ее регулирование при износе направляющих.

В конструкции автомата предусмотрены болты *14* для поджимания направляющих и регулирования соосности формовочной головки и шпинделя.

Второй вариант привода формовочных шпинделей имеет общий привод от электродвигателя, присоединяемого к распределительному валу пневматической фрикционной муфтой. Этот привод состоит из одиннадцати косозубых колес, посаженных на горизонтальном валу, вращающейся в подшипниках сварной коробки траверсы окончательной формовки изделий. Шесть зубчатых колес горизонтального вала находятся в зацеплении с шестернями вертикальных валов, связанных шлицевыми втулками с формовочными шпинделями. Четыре шестерни горизонтального вала являются паразитными, а последняя косозубая шестерня, находящаяся в центре, закреплена на втулке, в которую входит шлицевой валик, скрепленный с валиком пневматической фрикционной муфты. В муфте предусмотрены два контактных фрикционных диска; верхний — для сцепления распределительного вала с клиноременной передачей от электродвигателя и нижний — для торможения при опускании штока пневматической мембраны. Устройством этой муфты достигается быстрое включение формовочных шпинделей при их подъеме и остановке при опускании форм на поддоны.

На рис. VII.27 показано размещение шпинделя, формовочной головки и приводного мотора *1* в одной из секций автомата. Формовочная головка состоит из суппорта *2*, шаблона *3* и отрезного ножа *4*. Подача шаблона регулируется маховичком *5*, а отрезного ножа — маховичком *6*.

Управление автоматом выполняется с помощью командоаппарата, который приводится цепной передачей от главного вала, а также штангой управления, размещенной у рабочего места оператора. В нижней коробке командоаппарата вращается вал с пятью кулачками. Первый кулачок включает пневмоцилиндры механизмов отрезки дисков массы у питателей автомата. Второй кулачок управляет шестью транспортерами, подающими цилиндры массы к режущим аппаратам. Третий кулачок управляет работой фрикционной пневматической муфты привода формовочных шпинделей.

Два кулачка с помощью электроприборов управляют работой распылителя воды у формовочных головок и контролем фиксаторов при остановке полок конвейера в автомате.

Станина формовочного шестисекционного автомата состоит из сборных сварных узлов и силовой рамы. Силовая рама, воспринимающая основные усилия, состоит из верхней и нижней сварных поперечных балок, скрепленных с помощью чугунных боковин и стяжных болтов. Нижняя балка силовой рамы устанавливается в середине станины на фундаменте. Привод автомата состоит из смонтированных на одной плите электродвигателя АК61-4 и редуктора РМ500IV-зк. Входной вал редуктора

Рис. VII.27. Размещение шпинделя формовочной головки и приводного мотора

соединен с электродвигателем клиноременной передачей, а выходной — уравнительной муфтой присоединен к входному валу правой боковины автомата.

Цепи конвейера, несущие полки с гипсовыми формами, поступают в формовочный автомат из сушилки непрерывно, а далее в процессе загрузки массы — на формы, и формованные изделия движутся прерывисто в соответствии с циклограммой этих операций. Поэтому для компенсации возникающей разности скоростей введена дополнительная пара натяжных звездочек, смонтированных на оси, соединяющей два рычага, которые качаются на валу, соединяющем левую и правую стойки станины. При останове полочного конвейера в автомате для формования изделий часть сушильного конвейера оттягивается в сторону натяжными звездочками. После окончания формования участок полочного конвейера, занятый в формовочном

автомате, перемещается механизмом мальтийского креста с большей скоростью, чем перемещение конвейера в сушильной камере, выбирая часть конвейерной цепи, оттянутой перед натяжными звездочками. Подобным же механизмом компенсируется периодически возникающая разность скоростей отдельных участков полочного конвейера на выходе из формовочного автомата. Во избежание разрыва цепей полочного конвейера от случайных перегрузок предусмотрены соединительные муфты с предохранительными устройствами и блокировкой для выключения приводом формовочного автомата и сушилки.

Полки конвейера состоят из уголков, сваренных у торцов с подвесками, штампованными из листовой стали, которые надеваются на удлиненные пальцы двух бесконечных цепей конвейера.

На горизонтальных полках угольников предусмотрены гнезда для шести сменных поддонов, на которые укладываются гипсовые формы заданного ассортимента изделий.

Техническая характеристика формовочно-сушильного автомата

Количество одновременно формуемых тарелок и блюдец	6
Диаметры формуемых изделий, мм	147—258
Наибольшая высота изделий, мм	52
Длина полки конвейера, мм	1840
Цикл формования, с	6
Расчетная производительность, шт./ч	3600
Максимальное суммарное усилие прессования (для шести изделий) Н	272 000
Частота вращения шпинделей, c^{-1}	5—6,66
Диаметр дисков (и цилиндров) массы, мм	150
Мощность привода формовочной машины (без сушилки), кВт	6
Масса формовочной машины, т	12
Габарит формовочной машины (без сушилки), мм:	
длина	6000
ширина	5000
высота	2600

Машиностроительные фирмы «Тюрингия» (ГДР) и «Нетч» (ФРГ) выпустили формовочно-сушильные автоматы для чашек. В автомате используются четыре формовочных механизма с плоскими шаблонами, конструкция которых заимствована из двухшпиндельных полуавтоматов. Радиационная сушка (подвялка) электрическими лампами осуществляется над горизонтальной ветвью конвейера, пульсирующие перемещения которого синхронизированы с работой формовочного механизма. Съем чашек с форм выполняется с помощью резиновых шаров, раздуваемых в полости чашек, которые за счет возникающего трения перемещаются переставителем. Автомат имеет следующие недостатки: ручная закладка цилиндров массы в формы, установка отдельных вакуумных прессов у каждой машины, усложняющих и удорожающих установку без сокращения расхода рабочей силы, низкая производительность машины на один формовочный шпиндель, большое количество отходов (растрескивание) при переносе тонкостенных чашек резиновыми балонами.

Четырехлинейные формовочно-сушильные автоматы фирмы «Нетч» (ФРГ) работают на Дмитровском и Краснодарском фарфоровых заводах. Автомат «Нетч» отличается от автомата фирмы «Тюрингия» следующими конструктивными особенностями: формованием вращающимися роликами вместо плоских шаблонов; заменой радиационной электросушки направленными потоками теплого воздуха (струйная сушилка) на первой стадии сушки; заменой дозаторов массы с вакуум-прессами на простые дозаторы с ленточными транспортерами.

На этом автомате можно формовать чашки и блюдца по схеме формования чашек (ножкой вниз в любом соотношении). Фирма «Нетч» сделала смелую попытку объединить формовочно-сушильный автомат с автоматом оправки изделий и частично механизированной приставкой ручек в одну непрерывно действующую линию. Автоматизация оправки и приставки ручек к тонкостенным чашкам является трудной задачей, так как связана с большими отходами весьма хрупкого полуфабриката. Характеристика автоматической линии фирмы «Нетч» приведена в главе XVIII.

2. ОТЛИВКА ФАРФОРА И ФАЯНСА

Отливка изделий в пористых формах и ее особенности. Отливка фарфоровых и фаянсовых изделий применяется свыше 100 лет в производстве изделий, которые невозможно заформовать из пластичной массы, например статуэток и скульптурных групп, блюд, суповых чаш, салатников, отличающихся по своей форме от тел вращения, а также крупногабаритных санитарных изделий.

Механизм процесса отливки керамических изделий основан на способности шликера (текучей керамической массы) отдавать воду пористой гипсовой форме с образованием на ее поверхности плотного слоя — формуемого изделия. Широко используются два способа отливки: сливной и наливной.

При сливном способе избыток шликера после образования на внутренней поверхности формы плотного слоя заданной толщины сливается и затем используется для отливки других изделий. Этот способ применяется преимущественно для отливки изделий с приближенно одинаковой толщиной, например чашек, кувшинов и тому подобных полых изделий.

При наливном способе отливки шликером заполняется полость между двумя или несколькими разъемными формами. Изделие формируется отложением плотного слоя на двух поверхностях форм. Сначала образуется наружный плотный слой изделия, а внутренний жидкий слой по мере его уплотнения пополняется из установленных на формах литников. Этим способом можно получать разнотолщинные изделия, например умывальники, приставные ручки для чайников, чашек и других изделий.

Производительность оборудования для отливки определяется скоростью отложения плотного слоя на поверхности пористых гипсовых или иных форм. Движущей силой отбора влаги из жидкого шликера является капиллярное давление в порах гипсовой формы. Перемещению влаги из шликера в капилляры формы, а затем в окружающую среду препятствует главным образом сопротивление слоя массы, по мере отложения которого скорость фильтрации воды, а следовательно, и формирования изделий резко снижается. Сопротивление перемещению воды в капиллярах формы незначительно и практически не ограничивает отбор влаги из шликера. Влагопроницаемость отложившегося слоя плотной массы зависит от содержания в ней отощающих материалов и их гранулометрии. Путем подогрева шликера и форм (не свыше 70° С) снижается вязкость отбираемой из шликера воды, сопротивление ее перемещению в капиллярах, и тем самым сокращается продолжительность формирования изделия примерно в два раза. Для нормального выполнения процесса отливки высококачественных изделий с минимальными отходами (деформации, растрескивание и другие дефекты) к свойствам шликера и их стабильности предъявляются высокие требования. Шликер оптимального состава должен содержать минимальное количество воды при невысокой вязкости, обеспечивающей его прохождение в самых узких полостях гипсовых форм. При заданном составе керамической массы — дисперсной части шликера — его вязкость и влажность регулируются добавкой электролитов и поверхностно-активных веществ. Шликер предварительно подвергают вакуумированию для удаления воздушных включений и интенсивному перемешиванию для устранения преждевременного тиксотропного увеличения вязкости. Шликер, используемый для отливки небольших фарфоровых и фаянсовых изделий, должен удовлетворять требованиям, приведенным в табл. VII.6.

Таблица VII.6

Свойства шликера

Показатель	Масса		
	фаянсовая	полуфарфоровая	фарфоровая
Остаток на сите № 0056, %	12	5—8	1—2
Влажность, %	29—30	30—32	32—34
Плотность, г/см³	1,75—1,76	1,75—1,76	1,75—1,76
Коэффициент загустеваемости	2,0—2,5	2,0—2,2	1,8—2,2
Продолжительность выдержки шликера, сутки	2—3	2—3	2—3

Отливка хозяйственного фарфора и фаянса. В производстве хозяйственного фарфора и фаянса методом отливки формуются изделия, отличающиеся по своей форме от тел вращения, изготовляемых из пластичной массы на станках и полуавтоматах. К этому ассортименту относятся суповые вазы, овальные и прямоугольные блюда, салатники, кувшины и тому подобные изделия, а также разнообразный ассортимент художественно-декоратив-

ной керамики — вазы, статуэтки, скульптурные группы. Отливкой можно заформовать весьма тонкостенные чашки для чайных и кофейных сервизов, которые трудно получить формованием из пластичной массы. Особую группу составляют приставные детали разнообразной формы: носики и ручки к чайникам, чашкам, кувшинам и другим изделиям. Отливка полностью вытеснила трудоемкую ручную «отминку» этих деталей в разъемных формах из пластичной массы.

В зависимости от размеров и формы изделий применяются сливной и наливной способы отливки на стендах или конвейерах.

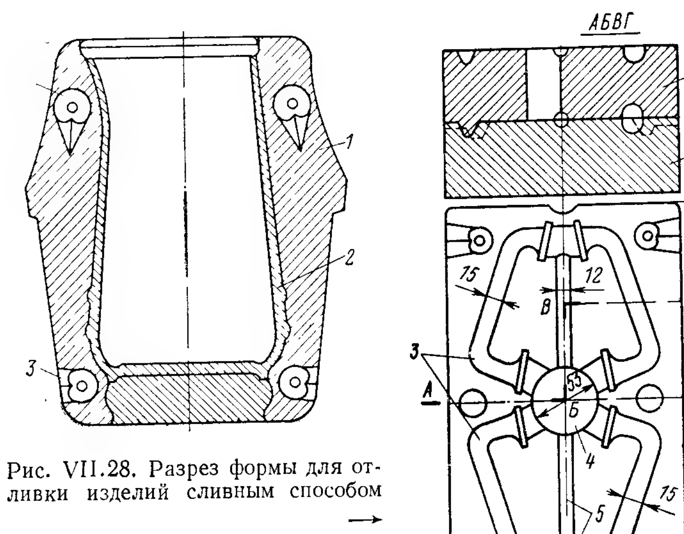


Рис. VII.28. Разрез формы для отливки изделий сливным способом

→

Рис. VII.29. Разрез формы для отливки изделий наливным способом

На рис. VII.28 показан разрез разъемной формы для отливки кувшина сливным способом. На внутренней поверхности формы *1* откладывается плотный слой массы *2* и таким образом формуется корпус кувшина. Избыток шликера из полости кувшина удаляется при опрокидывании формы или вакуумным отсосом. С помощью углублений *3* в одной половинке формы и соответствующих выступов в другой достигается точное совмещение отдельных элементов иногда довольно сложных разъемных форм.

Наливным способом отливаются изделия большой (или разной в отдельных частях) толщины, например умывальники, блюда, ручки к чайникам и чашкам.

На рис. VII.29 показан разрез формы для отливки ручек наливным способом. Формы *1* и *2* с углублениями *3* при совмещении образуют полость для формования четырех ручек, сообщающуюся с литником *4*. Плотный слой массы образуется на поверхностях двух форм вдвое быстрее, чем при сливном способе. При отливке разнотолщинных изделий литник *4* размещается таким образом, чтобы образование плотного слоя массы в узких полостях не при-

вело к образованию перемычки, препятствующей подаче шликера в широкие полости. Убыль шликера пополняется из литника *4* через каналы *5*. Чтобы литники и каналы не заполнялись плотной массой, их покрывают раствором стеарина в нагретом минеральном масле. Для увеличения производительности литейных стендов и сокращения занимаемой площади применяется батарейный способ отливки с многоярусными столбами форм. При этом каждая форма используется с двух сторон; верхняя ее поверхность является негативом для формования нижней поверхности изделия, а нижняя — для формования верхней поверхности.

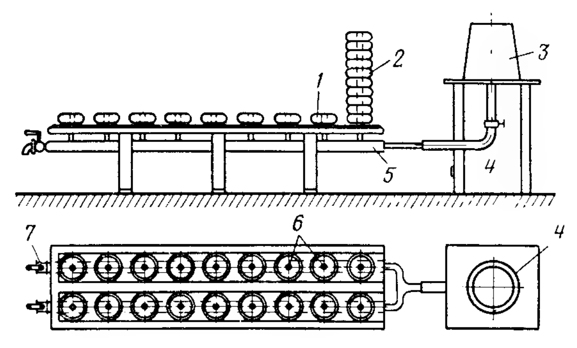


Рис. VII.30. Схема стенда батарейной отливки ручек

На рис. VII.30 показана схема стенда батарейной отливки ручек к изделиям. В литники форм *1*, установленных в столбы *2*, шликер подается из мешалки *3* через регулировочный кран *4* и через распределительный шликеропровод *5*. После окончания отливки шликер из литников *6* сливается через краны *7* и подается в мешалку *3* для дальнейшего использования. При небольшом расходе шликер обычно приготовляют роспуском в мешалках высушенных отходов, получающихся при формовании хозяйственного фарфора и фаянса из пластичной массы. В мешалку добавляют электролиты, а готовый шликер пропускают через сито 1600 отв./см^2 и электромагнитный сепаратор и перекачивают в расходные бассейны.

На некоторых заводах кувшины, сахарницы, чайники изготовляются отливкой вместе с ручками и носиками, чем устраняются операции по ручной приставке этих деталей. В целом экономическая конкурентноспособность метода отливки и формования из пластичной массы определяется степенью механизации этих процессов, затратами ручного труда, а также квалификацией персонала, обслуживающего автоматы или выполняющего операции оправки и приставки вручную.

Механизация и автоматизация отливки не получили существенного развития вследствие мелкосерийного выпуска разнообразного ассортимента изделий, формуемых этим методом. Для облегчения ручного труда на некоторых заводах получили применение поворотные четырехполочные литейные стенды (рис. VII.31), а также кон-

вейерные люлечные сушилки с выносными ветвями для выполнения заливки и слива избыточного шликера, формования с обогревом горячим воздухом, разборки и сборки форм. Люлечные конвейеры позволяют разместить их ветви по вертикали и с наибольшим эффектом использовать производственные площади. Предложения по автоматизации отливки тонкостенных чашек в конвейерной линии еще не реализованы в фарфоровой промышленности [9].

В одной из поточных частично механизированных линий для отливки чашек используют тележечный конвейер, по которому перемещаются формы и автомат для заливки вращающихся форм [5]. При вращении форм чашки получаются с более равномерной толщиной. Во избежание одностороннего утолщения чашек при сливе избыточного шликера в полуавтомате ГИКИ * удачно использован вакуумный отсос избыточного шликера. В первом конструктивном варианте одновременно заливались две формы, а во втором — четыре с соответствующим увеличением производительности полуавтомата.

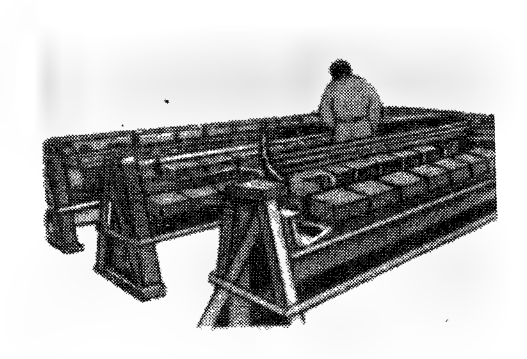


Рис. VII.31. Четырехполочный литейный стенд

В двухструйном полуавтомате формы подаются в два ряда 16-позиционным круглым столом *1* (рис. VII.32) с периодическим вращением. На каждой позиции стола размещены двух- или четырехгнездные формодержатели *2* для установки гипсовых форм. Привод *3* расположен под вращающимся столом. На станине над столом закреплены дозирующее *4* и отсасывающее *5* устройства.

Сбоку стола установлена мешалка *6* для питания дозатора шликером. Отсосанный шликер возвращается в мешалку.

В процессе работы в пустые гнезда формодержателей устанавливаются возвращающиеся из сушилок формы, которые периодическим движением стола подаются под дозирующее устройство и автоматически заливаются шликером.

При дальнейшем движении стола в залитых шликером формах формуются стенки чашек, после чего формы поступают под отсасывающее устройство для удаления избытка шликера, который затем выливается из камеры отсоса через гибкий рукав в резервуар *7*.

Возвратившиеся к рабочему месту литейщика формы с влажными чашками снимаются со стола полуавтомата и подаются в сушилку, а в освободившиеся гнезда устанавливаются пустые формы, выгруженные из сушилки после подсушки.

* Полуавтомат разработан по предложению И. А. Слуцкого, Ф. Я. Каштелян, Н. В. Васильева.

При изготовлении изделий на четырехструйных автоматах значительно сократилась продолжительность технологического процесса оформления чашек благодаря механизации некоторых операций. В процессе сушки и обжига снизилась деформация изделий. В настоящее время введено в эксплуатацию несколько моделей литейных полуавтоматов и разрабатываются механизмы для автоматизации перестановки форм с вращающегося стола в конвейерную сушилку и возврата их в формодержатели для последующей заливки.

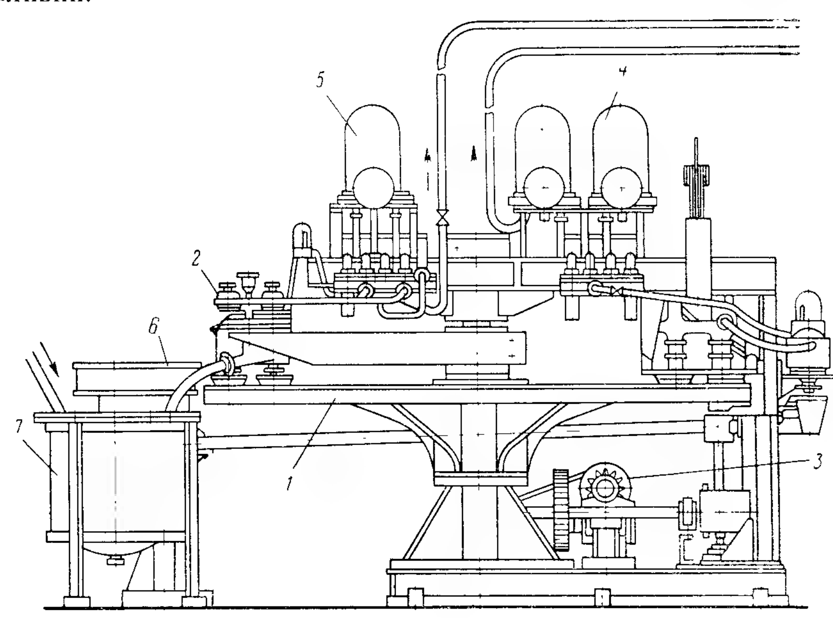


Рис. VII.32. Четырехструйный полуавтомат для отливки чашек

Объединение машины с вращающимися столами и конвейера сушилки в одну автоматическую установку получается, как и в других ротационных машинах, довольно сложным, повышает стоимость оборудования и эксплуатационные затраты.

Четырехструйный автомат для отливки тонкостенных или рельефных чашек имеет следующую техническую характеристику: производительность 500 шт./ч, габарит 7,4×3,6×1,85 м, масса агрегата 5,8 т.

Отливка изделий на заводах санитарного фарфора и фаянса *. Наиболее распространенным методом формования крупногабаритных и сложных по конфигурации фарфоровых и фаянсовых санитарных изделий является отливка из жидких масс (шликеров).

Метод отливки фарфоровых изделий впервые появился во Франции в 1780 г., но его долго держали в секрете. Только спустя 100 лет

* Этот раздел написан канд. техн. наук Н. Т. Кривоносовой.

в Германии (г. Майсен) начали изготовлять отливкой статуэтки, а во Франции — севрский фарфор. В 1891 г. в Германии С. Гетц применил для разжижения глинистых шликеров электролиты.

С 80—90-х годов прошлого столетия способ литья начал постепенно внедряться как на зарубежных, так и на отечественных фарфоро-фаянсовых заводах, главным образом для литья полых хозяйственных изделий сложной формы.

Отливка санитарно-строительной керамики взамен формования их из раскатанных пластов массы, в первой четверти XX в. получила широкое распространение. В настоящее время все отечественные заводы по изготовлению санитарно-строительных изделий работают по этому способу.

Успешное применение отливки изделий в гипсовых формах стало возможным благодаря изучению способов регулирования литейных свойств глинистых суспензий.

Отливка изделий на стендах. Отливка на стендах осуществляется вручную и с механизацией работ по сборке, разборке и перемещению тяжелых гипсовых форм.

Важным условием при заливке шликера в гипсовые формы является предварительная их обработка влажной губкой с целью открытия пор. Во избежание утечки шликера при заливке стыки между формами иногда обмазывают массой из отходов литейного цеха. Гипсовые формы заливаются таким образом, чтобы обеспечить свободный выход воздуха из форм. Шликеры в форме выдерживают до конца формования стенок изделия в течение 1,5—3 ч в зависимости от свойств шликера, влажности гипсовых форм и температуры помещения.

По окончании отливки в каждой форме открывается сливное отверстие для удаления избыточного шликера.

Выемку изделий производят через 8—16 ч после их затвердевания.

Для сушки гипсовых форм под литейными стендами устанавливаются радиаторы. Подача тепла непосредственно к местам отливки изделий уменьшает продолжительность формования и упрочнения изделий.

На современных заводах трудоемкие операции при изготовлении санитарно-строительных изделий механизированы с использованием движущихся на монорельсах разъемных устройств. Заливка форм таких изделий, как унитазы, производится под давлением с последующим вакуумным сливом шликера. По закольцованному трехдюймовому шликеропроводу шликер подается насосом *1* (рис. VII.33) из мешалки *2* для заливки в гипсовые формы *3*. Перед заливкой форм открывают пробковый кран *4* и поочередно краны, расположенные непосредственно под каждой формой. Кран *5* в это время закрыт. После уплотнения массы на форме начинается слив избыточного шликера из форм. В это время открывают кран *5* и шликер под действием вакуума, создаваемого ротационным водокольцевым насосом *6* с электромотором *7*, устремляется в емкость *8*. По мере заполнения емкости шликер автоматически сливается по шликеропроводу *9* в мешалку *10*, в которой осуществляется последующая его корректировка по влажности.

По такому же принципу заливаются и формы умывальников всех размеров.

Отливка на конвейерах. Наиболее распространенным методом изготовления санитарно-строительных изделий

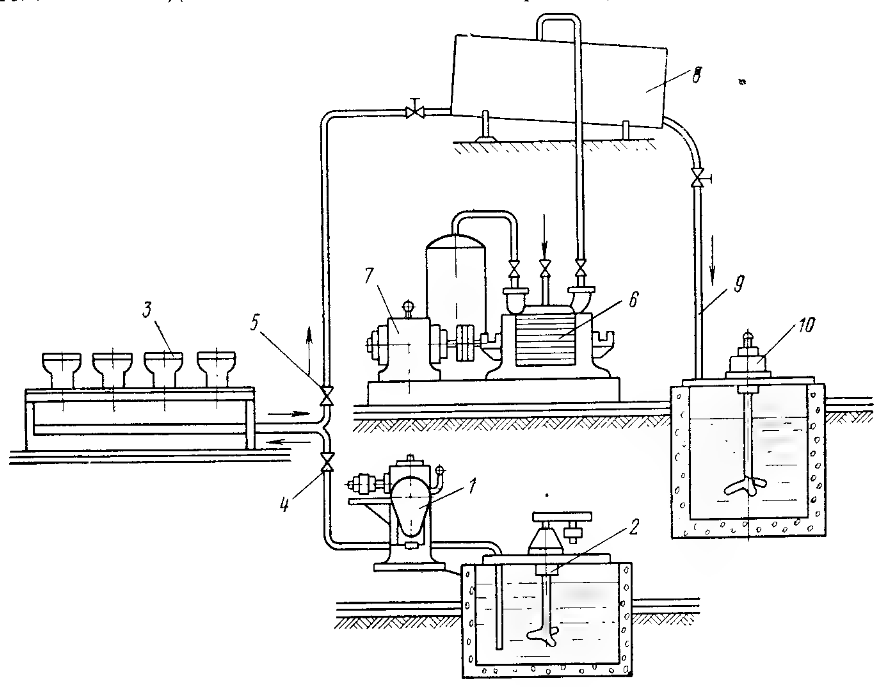


Рис. VII.33 Схема отливки санитарных изделий с вакуумным сливом шликера

является конвейерный. Умывальники отливают на литейно-подвялочных конвейерах СМ-46, СМ-462-А [6, 7], унитазы — на литейно-подвялочных конвейерах СМ-461 и СМ-461-А [10], бачки — на подвесном монорельсовом конвейере [11].

Конвейер СМ-461-А представляет собой двухъярусный кареточный транспортер, работающий по операционной схеме, показанной на рис. VII.34.

Техническая характеристика конвейера СМ-461-А

Производительность в год (по заливке), тыс. шт.	200—220
Длина конвейера, м	58
Цикл толкания, мин	3,5—4
Температура в камере сушки форм, °С	60—70
Влажность полуфабриката при выемке из форм, %	20—22
Влажность полуфабриката после подвялки, %	10—16
Предельная влажность форм до сушки, %	15—20
Влажность форм после сушки, %	6—10
Температура в помещении литейного цеха, °С	18—25
Относительная влажность воздуха цеха, %	78—88

На верхнем и нижнем ярусах конвейера установлены рельсы *1*, *2*, по которым с помощью гидравлических толкателей *3* периодически передвигаются каретки *4*. Передача кареток с формами с одного яруса на другой выполняется гидравлическими подъемниками *5*. На каждой каретке установлены две гипсовые формы. Всего на конвейере 130 кареток. Цикл толкания составляет 3,5 –4 мин. Каретки конвейера имеют специальные каркасы для крепления гипсовой формы. Каркасы могут раздвигаться и поворачиваться вокруг оси, что позволяет механизировать сборку и автоматизиро-

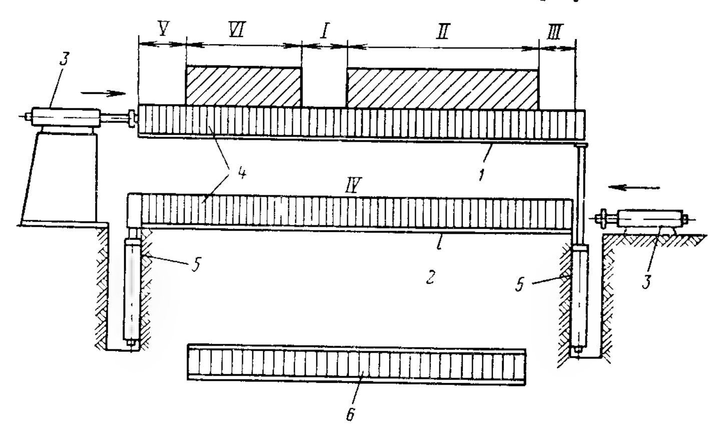


Рис. VII.34. Схема операционных позиций литейно-подвялочного конвейера СМ-461-А:

I — заливка (6 кареток); *II* — формирование (26—30 кареток); *III* — слив избыточного шликера (4—6 кареток); *IV* — упрочнение изделия (65 кареток); *V* — клейка приставных деталей и обрезка излишней массы (7 кареток); *VI* — сушка гипсовых форм (16 кареток)

вать разборку гипсовой формы. Для приема отлитых изделий предусмотрены гидравлические подъемные столики, работающие синхронно с механизмом выкатной тележки и механизмом раскрытия форм. На конвейере имеются две камеры тепловой обработки для сушки гипсовых форм и упрочнения изделия. Рядом с литейной частью конвейера расположена подвялочная камера, где изделия проходят предварительную сушку, передвигаясь на деревянных поддонах по рольгангу *6*.

Передача кареток с одного яруса на другой осуществляется гидроподъемником, замыкающим оба яруса в вертикальной плоскости в начале конвейера, и гидроснижателем аналогичной конструкции, расположенным в конце конвейера.

Заливка гипсовых форм на конвейере производится автоматически с помощью электронного реле и электромагнитного золотника.

Электронное реле состоит из электронной лампы *Л* (рис. VII.35), электромагнитного реле *Р* и силового трансформатора *ТР*.

Принцип действия автоматической заливки состоит в том, что после цикла толкания конечный выключатель *ВК* включает промежуточное реле *РП*, которое своими контактами замыкает цепь ка-

тушки электромагнитного золотника. При этом нижняя подвижная часть электромагнита *1* притягивается к верхней неподвижной части *2*. Шток *3* золотника, механически связанный с подвижной частью электромагнита (якорем), поднимается; открывается тем самым отверстие, через которое заливают шликер в гипсовую форму.

Если контакты *4* датчика *5* не касаются поверхности шликера, то лампа *Л* выключена, и ток через реле не проходит. Когда же форма заполняется шликером до заданного уровня, контакты датчика входят в соприкосновение с поверхностью шликера, лампы включаются, и через катушку реле *Р* протекает ток. Реле *Р* при этом срабатывает и своими нормально закрытыми контактами закрывает цепь реле *РП*, которое отключает электромагнитный золотник. Под действием пружины шток золотника возвращается в исходное положение, закрывая при этом отверстие для подачи шликера. Процесс заливки прекращается и возобновляется при следующем перемещении форм.

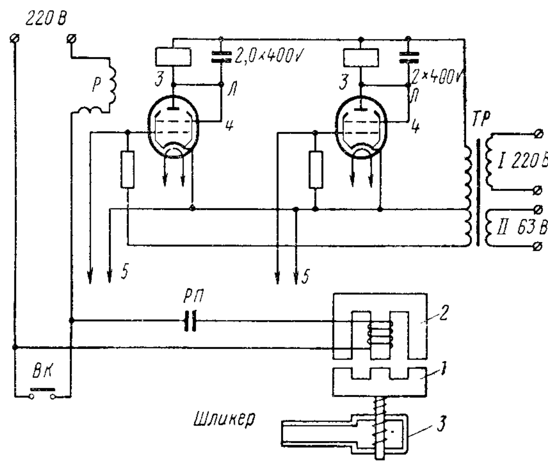


Рис. VII.35. Схема реле автоматической заливки шликера

Теплотехническая часть конвейера состоит из калориферов, вентиляторов, коробов и вентиляционных трубопроводов с шиберами для подачи необходимого количества подогретого воздуха в камеры конвейера с целью интенсификации технологических процессов: закрепления и подвялки изделий и сушки гипсовых форм. На конвейере механизированы следующие операции: разборка, сборка и заливка гипсовых форм. Шликер из форм сливается самотеком на открытом участке конвейера после выемки рабочим сливной пробки. Ручными операциями на конвейере являются: приклейка приставных деталей, отделка внутренней и наружной поверхности изделий, подготовка гипсовой формы к заливке шликера.

Конвейер СМ-461-А по сравнению с ручным методом изготовления имеет следующие технико-экономические преимущества: механизируются тяжелые ручные операции, в два раза интенсифицируется процесс изготовления изделий, возрастает в 2,5 раза выпуск изделий с 1 м² производственной площади.

На заводах санитарной керамики в целях повышения коэффициента использования печного объема пустоты между крупными изделиями заполняют изделиями хозяйственного фарфора и полуфарфора, изготовленных методом литья. Такие изделия, как кув-

шины, бочонки всех видов и размеров для соления, отливаются на конвейерах.

Конвейер для отливки крупных хозяйственных изделий представляет собой замкнутый кольцевой монорельс с движущимися подвесными люльками, на которых установлены гипсовые формы (рис. VII.36).

Техническая характеристика конвейера для литья бочонков («бочат»)

Количество позиций (люлек), шт.	108
Шаг люлек, м	1200
Скорость, м/мин	0,4
Длина цепи, пог. м	130
Монорельс	Балка № 14
Габарит, м:	
длина	67
ширина	2,5
высота	2,25

Рис. VII.36. Схема операционных позиций отливки бочонков:

I — заливка; *II* — формование; *III* — слив избытка шликера; *IV* — упрочнение изделия; *V* — разборка гипсовых форм; *VI* — оправка изделия; *VII* — сушка гипсовых форм

На каждой люльке крепятся металлическими замками по две формы.

Гипсовая форма состоит из двух частей: верхней и нижней. На подошедшей по конвейеру форме к рабочему месту разборки открывают замок формы, снимают верхнюю часть ее и осторожно вынимают отливку вручную. Затем форму снова собирают к заливке и пропускают вверх дном через камеру подсушки гипсовых форм. Температура в камере подсушки гипсовых форм 50—70° С. Подошедшую к заливке форму переворачивают вниз дном, протирают внутри влажной губкой и заливают шликером. Заливка производится автоматически. Автомат заливки установлен над конвейером и передвигается в пределах одной позиции синхронно с ним, возвращаясь после заливки каждой формы в исходное положение.

Через 1,5—2 ч после формирования изделия сливают остаточный шликер из форм путем постепенного переворачивания формы на 180° специальным опрокидывающим устройством. Спустя час после слива шликера формы с отливками бочонков переворачиваются вниз дном. Через 3,5—4 ч после упрочнения изделия вынимаются из форм.

Крышки с ушками для бочонков отливаются в гипсовых формах наливным способом. Оправка бочонков производится вручную.

Производительность конвейера 300 тыс. шт. изделий в год.

Аналогичные конвейеры применяются для отливки других хозяйственных изделий.

3. ПРЕССОВАНИЕ ФАРФОРА И ФАЯНСА

Хозяйственный фарфор и фаянс. Прессование изделий из порошкообразной массы в стальных формах не получило в производстве хозяйственного фарфора и фаянса применения из-за разнообразной конфигурации тонкостенных изделий, преобладающих в ассортименте этой продукции. Этот метод широко используется в производстве низковольтного установочного электрофарфора и фаянсовых облицовочных плиток, где высокие требования к точному соблюдению размеров и заданной формы не обеспечиваются формованием из пластичной массы. Многолетние исследования [12] показали возможность прессования плоских фаянсовых изделий и толстостенных фарфоровых тарелок для общественного питания. Достаточная массивность этих изделий обеспечивает их выталкивание из пресс-форм без деформации или разрушения. Процесс прессования тарелок и блюдец имеет много общего с прессованием фаянсовых облицовочных плиток. Однако различия в форме потребовали разработки механизма для тщательного предварительного распределения порошкообразной массы в форме в соответствии с разнотолщинностью тарелок и устройства вращающегося стола для разгрузки и загрузки пресс-форм. Пресс ПР-1 разработан сотрудниками КБ УНИИСП Д. Б. Гуз, Е. Б. Зайцевым, И. Я. Рубашевским. Вращающийся стол *1* (рис. VII.37) пресса имеет шесть пресс-форм, которые после их заполнения порошкообразной массой подаются на позицию прессования шестилучевым мальтийским механизмом синхронно с работой прессующего механизма. Над столом смонтированы бункер *2* с пресс-порошком, дозатор *3* и механизм *4*, распределяющий массу в пресс-форме. На валу *5* прессующего механизма насажен кулачок *6*, сообщающий через ролики *7* и *8* возвратно-поступательное движение ползуну со штемпелем *9*. Давление прессования регулируется давлением масла в цилиндре, поддерживающем пресс-форму во время прессования по общепринятой в коленорычажных прессах схеме. Механизм предварительного уплотнения *10* смонтирован на общей с механизмами *2*, *3* и *4* траверсе (на чертеже не показана). Выталкивание отпрессованной тарелки из пресс-формы выполняется скалкой при набегании ролика на копир, закрепленный под столом *1*. Максимальное усилие прессования 100 т, ход штемпеля 95 мм. Производительность пресса 600 шт. в час. Мощность электродвигателя 5 кВт. Масса пресса 7,5 т. Габарит, мм: длина 2550, ширина 2370, высота 2615.

По предварительным исследованиям УНИИСП, приближенные параметры полусухого прессования тарелок следующие: влажность порошка 6—8%; предварительное уплотнение 6,9—7,8 МПа (70 -

80 кгс/см²); первая стадия прессования 14,7—15,7 МПа (150—160 кгс/см²); вторая стадия прессования 29,4—49 МПа (300—500 кгс/см²); усадка при сушке и обжиге 3,8—4,5%; водопоглощение обожженных изделий 9—12%; прочность высушенных образцов при изгибе 10,8—12,7 МПа (110—130 кгс/см²), при разрыве 0,9—1,17 МПа (10—12 кгс/см²); коэффициент линейного термического расширения в интервале 20—400° С $(6 \div 8) \cdot 10^{-6}$ 1° С.

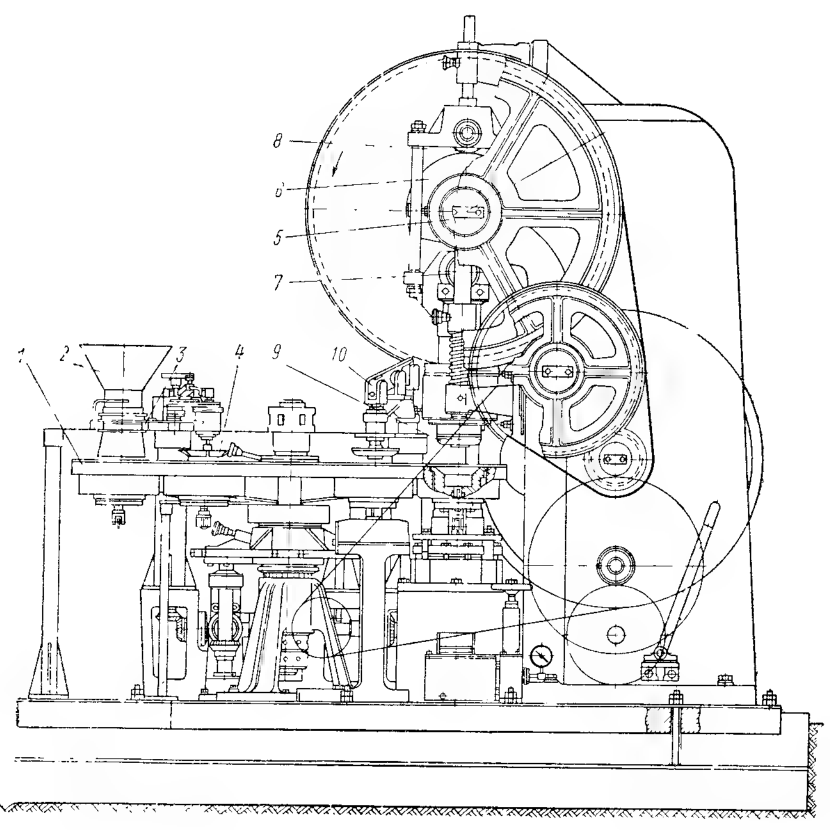


Рис. VII.37. Схема пресса ПР-1 для тарелок

Полусухое прессование могло бы дать существенный технико-экономический эффект в первую очередь в производстве тарелок и блюдец для столовых, кафе, ресторанов, где по условиям механизированной мойки используются массивные изделия. Прессование таких изделий и дальнейшая механизированная их обработка будут проходить с минимальными отходами.

Полусухое прессование при изготовлении изделий простой формы имеет некоторые очевидные преимущества.

Гладкая поверхность изделий, отпрессованных в полированных стальных формах, не нуждается в зачистке, которая при формовании в гипсовых формах выполняется обычно вручную на одношпиндельных станках.

Долговечность форм из легированной стали может дать экономию в расходах на гипсовые формы.

Существенное снижение себестоимости может дать также упрощение технологической схемы производства, которая представляется в следующем виде: тонкий помол массы и получение шликера в трубной мельнице непрерывного действия → получение прессовочного порошка заданной влажности в распылительной башенной сушилке [13] → прессование и автоматическое удаление заусениц → сушка → глазурование → однократный обжиг.

Прессование фаянсовых плиток для облицовки стен*. Фаянсовые глазурованные плитки должны иметь точные размеры без деформации в сушке и обжиге при небольшой их толщине, что не обеспечивается при формовании их из пластичной массы или отливке из шликера.

Полусухое прессование получило широкое применение в производстве тонкостенной облицовочной керамики. В СССР в 1970 г. одних лишь глазурованных фаянсовых плиток выпущено около 18 млн. м².

Изделия, отпрессованные из керамических порошков [14], обладают в сырце большой прочностью, точностью размеров и конфигурации, дают минимальную усадку при сушке и пониженную в обжиге.

Первая стадия прессования керамического порошка дает уплотнение за счет смещения частиц относительно друг друга и их сближения. При этом происходит частичное удаление воздуха из системы.

Следующая стадия уплотнения характеризуется пластической необратимой деформацией частиц с увеличением контактной поверхности между ними. Вода вместе с содержащимися в ней глинистыми коллоидами или другие связки, вводимые при прессовании, склеивает частицы прессуемого порошка. В этой стадии уплотнения возникает упругое сжатие воздуха, который не успел удалиться из порошка.

В третьей стадии уплотнения наступает упругая деформация частиц. Такая деформация вероятна для удлиненных частиц, которые получаются в фильтр-прессных порошках и могут изгибаться по схеме деформирующейся балки.

Последняя стадия уплотнения сопровождается хрупким разрушением частиц, при котором изделие получает наибольшее уплотнение вследствие дальнейшего развития контактной поверхности.

После прекращения действия прессующего усилия и освобождения изделия из формы происходит его упругое расширение, которое в отдельных случаях достигает 8%. Упругое расширение не позволяет получать изделия с максимальной плотностью и является причиной образования дефектов изделий.

* Этот раздел написан канд. техн. наук А. С. Красноусовой.

Суммарный эффект уплотнения характеризуется коэффициентом сжатия

$$K_{сж} = H : h,$$

где H — высота засыпки порошка в форму пресса;
h — высота от прессованного изделия.

Разница между высотой засыпанного в форму порошка и высотой полученного спрессованного образца называется осадкой.

Графическая зависимость между осадкой и удельным давлением прессования называется компрессионной кривой.

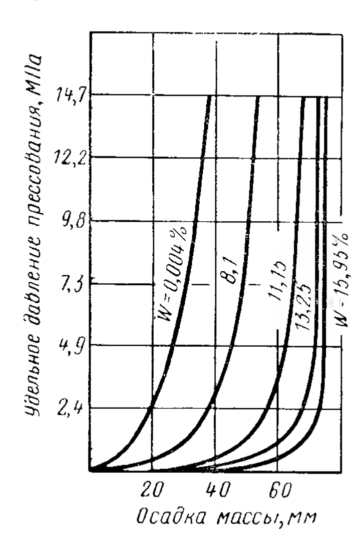


Рис. VII.38. Компрессионная кривая для фаянсового пресс-порошка

Компрессионные кривые показывают, что по мере возрастания давления осадка сначала интенсивно увеличивается, затем начинает уменьшаться и при достижении некоторого давления, характерного для каждого порошка с данными свойствами, почти полностью прекращается. Для каждого порошка существует давление, превышать которое нет необходимости, так как за его пределами дальнейшего уплотнения почти не происходит.

Зависимость между осадкой и давлением [15] определяют по формуле

$$P + Ao = Ak\left(\frac{H}{H-h_0}\right),$$

где Ao, Ak, h_0 — параметры, определяемые экспериментально при конечных давлениях.

На рис. VII.38 приведены компрессионные кривые для керамических порошков разной влажности.

Давление, приложенное к штемпелю, затухает в направлении толщины изделия. Неравномерность давлений по толщине прессуемого изделия возрастает с увеличением высоты изделия и уменьшается с увеличением его гидравлического радиуса.

На равноплотность изделий большое влияние оказывает режим прессования [16]. Различают прессование одностороннее и двустороннее, однократное и многократное, ударное и плавное.

Двустороннее прессование уменьшает степень неравномерности уплотнения массы порошка. Поэтому в современных прессах применяют двустороннее прессование даже при формовании сравнительно тонких изделий.

При многократном (ступенчатом) прессовании чередуются стадии нагрузки, когда штемпель давит на порошок, со стадиями разгрузки, когда штамп несколько приподнимается и прессуемое изделие освобождается от давления.

При ступенчатом прессовании можно получить заданное уплотнение при существенно меньшем конечном давлении. Кроме того,

оно обусловливает меньшую неравноплотность прессуемого изделия, так как при этом снижается упругое последействие, в то время как при однократном прессовании значительное упругое последействие ухудшает качество изделия [17].

Ступенчатое прессование обеспечивает также возможность более полного удаления воздуха из прессуемой массы в периоды подъема штемпеля. По указанным причинам такое прессование является одним из непременных условий получения высококачественных изделий при формовании их способом сухого прессования.

Факторы, определяющие качество прессуемых изделий (равноплотность и упругое последействие), в значительной степени зависят от длительности приложения прессующей нагрузки. Наихудшие результаты получаются при ударном прессовании, наилучшие — при плавном приложении нагрузки. При длительном действии прессующей нагрузки увеличиваются плотность и однородность структуры изделия, снижается упругое последействие и происходит наиболее полное удаление воздуха из прессуемого порошка.

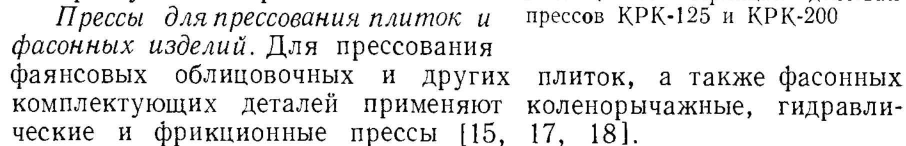


Рис. VII.39. Принцип действия прессов КРК-125 и КРК-200

Прессы для прессования плиток и фасонных изделий. Для прессования фаянсовых облицовочных и других плиток, а также фасонных комплектующих деталей применяют коленорычажные, гидравлические и фрикционные прессы [15, 17, 18].

Наибольшее распространение для прессования фаянсовых плиток получили коленорычажные автоматические прессы с гидравлическим противодавлением КРК-125 и КРК-200.

Коленорычажный пресс состоит из следующих основных частей: пресс-формы, механизма засыпки, прессующего механизма, масло-воздушного баллона, гидравлического цилиндра противодавления, выталкивающего механизма и привода.

Принцип действия пресса следующий (рис. VII.39).

При вращении приводного вала *1* прессующий коленчатый вал *2*, соединенный с приводным коленчатым валом посредством шатунов *3*, описывает дугу АСВ и приподнимает штемпель с помощью связанной с ним тяги.

За один оборот приводного коленчатого вала прессующий вал дважды проходит через точку *С*, выполняя первое и второе прессование. Во время первого прессования открывается клапан *4* и нижний штемпель, связанный с поршнем *5* гидравлического цилиндра *6*, при давлении на пресс-порошок, равном давлению в резервуаре *7*, опускается вниз, выдавливая масло в этот резервуар и сжимая в нем воздух.

При дальнейшем движении шарнирного соединения прессующий вал проходит от точки *C* до точки *B* и верхний штемпель *8* поднимается вверх на 4—6 мм. В это время из сжатого порошка удаляется воздух и под действием жидкости, выдавливаемой из резервуара *7* сжатым воздухом, нижний штемпель возвращается в исходное положение.

При вторичном прохождении прессующего вала через точку *C* от точки *B* происходит вторичное прессование при давлении 24,5—34,3 МПа (250—350 кгс/см^2).

В это время клапан *4* автоматически перекрывается, и нижний штемпель вниз не опускается, так как доступ жидкости в резервуар *7* закрыт, а поршень *9* гидравлического регулирующего цилиндра, удерживаемый пружиной *10*, не выпускает масла из системы.

Порошок из бункера поступает в коробку каретки *11*, которая, двигаясь вперед при подъеме штемпеля *8*, заполняет пресс-форму и отходит в исходное положение. В этот момент верхний штемпель начинает двигаться вниз, производит двухступенчатое прессование и уходит вверх. Затем включается механизм, который выталкивает отпрессованную плитку; двигающаяся каретка сталкивает плитку со стола пресса.

Все процессы прессования — подача порошка в пресс-форму, прессование плитки, выталкивание ее из пресс-формы и сталкивание со стола пресса — выполняются автоматически.

Работа коленорычажного пресса осуществляется следующим образом. Вначале пресс на 10—15 мин запускают на холостом ходу, при этом дозирующий шибер оттягивается назад.

После нагрева нижнего и верхнего пуансонов включают электродвигатель. Как только он наберет требуемые обороты, нажатием кнопки включают муфту, и пресс начинает работать.

Одновременно с прессом включаются в работу машина для зачистки плиток и приспособление для чистки верхнего пуансона.

Для чистки верхнего пуансона необходимо отжать от него щетку приспособления для автоматической чистки.

Перед чисткой нижнего пуансона его необходимо выдвинуть вверх из рамы матрицы, нажав кнопку гидравлики. По окончании чистки нижний пуансон вновь переводится в положение заполнения пресс-порошком нажатием специальной кнопки.

При эксплуатации коленорычажных прессов необходимо соблюдать несколько основных требований.

Дозировочное устройство в переднем положении надо устанавливать так, чтобы его камера заходила за передний край матрицы примерно на 30 мм.

При выталкивании отпрессованной плитки нижний пуансон не должен выступать над рамкой матрицы. Установка пуансона может быть отрегулирована с помощью винта, расположенного на выталкивающем шпинделе.

Выталкивающий кулачок на левом колесе устанавливают таким образом, чтобы нижний пуансон опускался вниз только тогда, когда над ними находится камера дозирующего устройства.

При прессовании изделий влажность и гранулометрический состав пресс-порошка определяют 1—2 раза в смену. Давление прессования проверяют постоянно.

Механическая прочность отпрессованных изделий на излом определяют 3—4 раза в смену.

Гидравлические прессы применяются преимущественно при прессовании плиток для полов. Эти прессы бывают как автоматические, так и с ручным управлением [6, 7].

В наиболее современных моделях гидравлических прессов фирмы «Лайс» (ФРГ) и сдвоенного пресса СМ-679 все операции автоматизированы. Основными частями автоматического пресса являются: нижняя и верхняя траверсы, прессующий цилиндр, колонны, вспомогательный и выталкивающий цилиндры, загрузочное устройство, прессующая каретка, два бункера, три гидропривода. При двухслойном прессовании этот пресс работает следующим образом. Основной порошок из бункера поступает в загрузочную каретку, затем с помощью гидроцилиндра каретка перемещается и засыпает порошок в пресс-форму, одновременно сталкивая на своем пути готовые плитки. Когда каретка будет возвращена в исходное положение, второй гидроцилиндр передвигает влево устройство для засыпки второго слоя порошка, поступающего из соответствующего бункера. Как только засыпное устройство возвращается в исходное положение, третий гидроцилиндр надвигает над пресс-формой прессующую плиту, после чего автоматически опускается вниз прессующий поршень и прессует плитки. Когда прессующий поршень поднимается вверх, третий гидроцилиндр убирает прессующую плитку и выталкивающий механизм выталкивает плитки. Прессование ведется в два приема: предварительное — при давлении 4,9 МПа (50 кгс/см^2) и окончательное — после паузы для выхода воздуха из порошка при давлении 32,4 МПа (330 кгс/см^2).

Подобная схема прессования выполняется в наиболее производительных сдвоенных прессах СМ-679 [7]. Два четырехколонных пресса работают поочередно от одной гидроустановки, чем достигается высокая производительность — 8000 плиток в час размером $100 \times 100 \times 13$ мм при малой занимаемой площади и эффективном использовании оборудования гидроустановки.

Фрикционные прессы применяют для прессования облицовочных плиток и фасонных частей к ним — уголков, карнизов и др.

Основные части этих прессов: станина, колонны, подвижная траверса, неподвижная траверса с кронштейнами, фрикционный механизм и привод.

До последнего времени для прессования фасонных деталей использовались преимущественно фрикционные прессы с ручным управлением. При движении каретки вперед насыпают порошок в пресс-форму, после чего фрикционное колесо вводят в зацепление с одним из вертикальных дисков, благодаря чему винт, вращаясь, перемещает вниз подвижную траверсу с пуансоном и прессует изделие. Вводя фрикционное колесо в зацепление с другим вертикальным

диском, поднимают траверсу с пуансоном наверх и нажатием педали выталкивают изделие из пресс-формы. В последние годы начали применяться автоматические фрикционные прессы в производстве фаянсовых облицовочных плиток [18]. Наибольший интерес представляют прессы итальянских фирм «Сакми» и «Велко». Пресс «Ариетте-супер» фирмы «Велко» отличается высокой производительностью, большим удельным давлением и полной автоматизацией прессования. Пресс состоит из корпуса — основания, двух колонн с подвижной и неподвижной траверсами, фрикционного устройства для прессования, засыпного устройства, стола с формами, гидравлической системы подъема и опускания подвижной траверсы, гидравлической системы выталкивания плиток, системы обогрева штампов, электромагнитной системы и другой аппаратуры для автоматического регулирования.

Техническая характеристика пресса

Максимальное давление, МН (т)	274 (280)
Количество прессования, мин	22
Мощность электродвигателей, кВт	25
Масса, кг	9500

Пресс работает по следующей схеме. Засыпное устройство, оборудованное индивидуальным приводом с магнитной муфтой и электронным вибратором, движением вперед заполняет формы при верхнем положении подвижной траверсы со штампами. В момент заполнения форм включают вибратор, что обеспечивает равномерную толщину слоя массы. Когда засыпное устройство отодвигается, траверса со штампами с помощью гидроцилиндров опускается и штампы входят в формы. Масса траверсы со штампами составляет около 300 кг, и опускание траверсы можно рассматривать как первое, очень легкое прессование.

Больший из двух гидравлических цилиндров служит для подъема и опускания подвижной траверсы, которая при опускании нажимает на поршень малого цилиндра, что является сигналом включения

Таблица VII.7

Техническая характеристика прессов

Показатель	Пресс			
	КРКп-125 (ГДР)	«Дорст М-130т» (ФРГ)	«Лайс» (ФРГ)	«Ариетте-супер» (Италия)
Выпуск плиток размером 150×150 мм, шт./ч	2000	2640	2800	5000
Максимальное давление, МН (т)	122 (125)	127 (130)	361 (375)	274 (280)
Количество одновременно прессуемых плиток	2	2	4	4
Мощность двигателя прессующего механизма, кВт	7,4	8,8	5	19
Металлоемкость на 1000 шт./ч, т	4,75	2,6	4,65	1,9
Энергоемкость на 1000 шт./ч, кВт	3,7	3,2	1,78	3,0

фрикционного устройства. Устройство срабатывает дважды, обеспечивая двукратное прессование с регулируемой силой давления при каждом из них. После второго прессования устройство останавливается в верхнем положении, автоматически включается гидропривод подъема подвижной траверсы и выталкивающего устройства. При новом цикле работы отпрессованные плитки переставляются засыпным устройством на транспортер машины для очистки плиток и укладки их в стопки, после чего цикл прессования повторяется.

В табл. VII.7 приведена сравнительная характеристика различных прессов.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Флеров М. В.** Производство фарфоровых изделий. М., Гизместпром, 1939, с. 85.
2. **Лысин Б. С.** Производство фарфора и фаянса. Киев, изд. Всеукр. треста «Фарфор—фаянс—стекло», 1923. 413 с.
3. **Куколев Г. В.** Химия кремния и физическая химия силикатов. М., «Высшая школа», 1966, 463 с.
4. **Нечипоренко С. П.** Основные вопросы теории процессов обработки и формования керамических масс. Киев, изд. АН УССР, 1960, 250 с.
5. **Мороз И. И.** Совершенствование производства фарфоровых и фаянсовых изделий. М., «Легкая индустрия», 1973, 248 с.
6. **Булавин И. А.** Машины для производства тонкой керамики. М., Машгиз, 1962, 411 с.
7. **Булавин И. А.** Оборудование керамических и огнеупорных заводов. М., «Высшая школа», 1965, 428 с.
8. **Ceramic** Industry, № 3, 1933, с. 10—11.
9. **Булавин И. А.** Оборудование фарфоровых и фаянсовых заводов. М., Гизместпром, 1940, 398 с.
10. **Хорьков П. Н.** Конвейер СМ-461А для производства санитарно-технических изделий.— «Стекло и керамика», 1966, № 2, с. 33—36.
11. **Хорьков П. Н.** Литейно-подвялочный конвейер для производства керамических бачков.— «Стекло и керамика», 1973, № 7, с. 5—7. 32—33.
12. **Булавин И. А.** К вопросу о сухом прессовании фарфора и фаянса.— «Керамика и стекло», 1927, с. 5—7.
13. **Белопольский М. С.** и др. Современные методы обезвоживания керамических суспензий с целью получения пресс-порошка. М., изд. ЦНИИТЭСТРОМ, 1967, 42 с.
14. **Справочник** по производству строительной керамики. Т. 11. М., Госстройиздат, 1961, с. 415—416.
15. **Булавин И. А., Сапожников М. Я.** Машины и аппараты силикатной промышленности. Часть 11. М., Промстройиздат, 1957, 425 с.
16. **Красноусова А. С., Кельман М. М.** Изучение влияния режима прессования на качество облицовочных плиток. М., изд. ЦНИИТЭСТРОМ, 1968. 22 с.
17. **Кондрашов Ф. В.** Исследование процессов запрессовки воздуха и упругого расширения при прессовании керамических порошков. Автореферат диссертации, 1963.
18. **Черпак А. Г.** Пресс «Ариетте-супер» фирмы «Велко». — «Стекло и керамика», 1968, № 6, с. 45—47.

ГЛАВА VIII

СУШКА ИЗДЕЛИЙ

Сушка хозяйственных фарфоровых и фаянсовых изделий может быть осуществлена двумя способами передачи тепла: конвекцией и излучением.

По способу конвекции, наиболее распространенному, действуют сушилки: а) конвейерные — для сушки основного ассортимента фарфоровых и фаянсовых бытовых изделий; б) камерные — для сушки немассового ассортимента и гипсовых форм; в) туннельные — для сушки капселей и также гипсовых форм.

Конструкции конвейерных сушилок различают по направлению движения цепей конвейера: с вертикальным, горизонтальным и П-образным движением.

Направление потоков теплоносителя (обычно воздуха) в сушилках может быть разнообразным, чаще вертикальное нисходящее, горизонтальное (вдоль цепей конвейера) и комбинированное вертикальное и горизонтальное в разных участках сушилки.

Источником тепла в конвекционных сушилках служит нагретый воздух, направляемый центробежными вентиляторами из зоны охлаждения туннельных печей, а также пар, подаваемый в калориферы, устанавливаемые внутри или вне сушилки.

В сушилках радиационного типа источником тепла служит электроэнергия, посредством которой нагреваются металлические теплоизлучатели (обычно нихромовая проволока) или электролампы накаливания с развитой длинноволновой частью спектра, а также газ, сжигаемый в специальных горелках панельного типа.

Температура подвяливания и сушки изделий, сформованных на гипсовых формах, ограничена температурой, которую может выдержать гипс, не дегидратируясь (70° С). Поэтому сушка изделий на гипсовых формах протекает длительно, она начинается обычно при температуре 35—40° С и завершается при 70° С с относительной влажностью воздуха 35—40%.

Сушка изделий направленными струями теплоносителя, а также вынутых из гипсовых форм может протекать быстро при более высоких температурах (до 250° С).

Поэтому сушка может быть разделена на две стадии: первая — сушка в гипсовых формах и вторая — досушка без гипсовых форм.

При этом возникает необходимость в промежуточной операции по извлечению изделий из гипсовых форм после подвяливания и перестановки их в сушилку, работающую при более высоких температурах.

От этой операции можно было бы освободиться, если бы удалось заменить гипс другим материалом, столь же мелкопористым и гидрофильным, но выдерживающим высокие температуры, например до 250° С. Поиски в области поликонденсирующихся органических материалов пока ограничились полихлорвинилом, фторопластом, способными выдержать температуру не выше 120° С. Интересные

работы проводятся в ЦНИИСП по использованию керамических форм.

Рассмотрим наиболее распространенные конструкции действующих сушилок.

1. КОНВЕЙЕРНЫЕ КОНВЕКТИВНЫЕ СУШИЛКИ

Сушилка фирмы «Тюрингия». На многих отечественных заводах для сушки плоских изделий применяют импортные сушилки «Тюрингия» длиной 11,5 и 14 м. В этих сушилках осуществлено в основном горизонтальное движение изделий и теплоносителя.

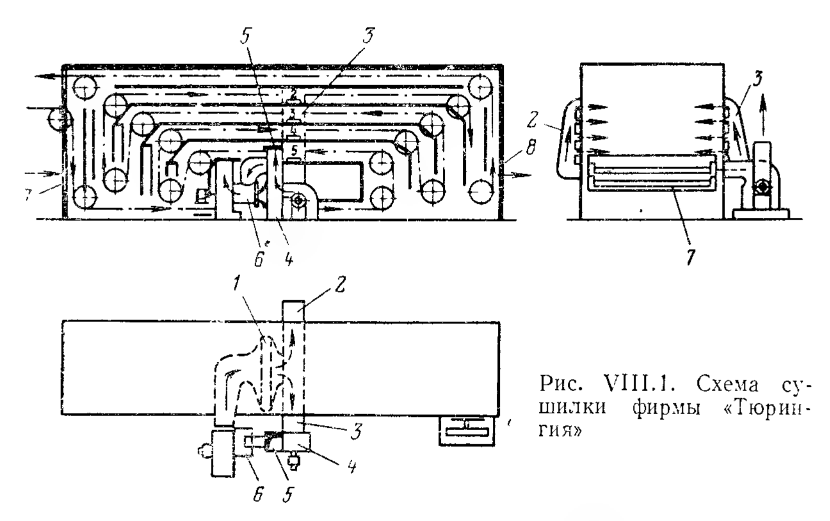


Рис. VIII.1. Схема сушилки фирмы «Тюрингия»

Конвейерная цепь расположена так, что создает шесть горизонтальных рядов, отделенных между собой перегородками из прессованного картона, которые довольно скоро изнашиваются. Верхний ряд, в котором нет подачи теплого воздуха, служит для возврата гипсовых форм.

Между нижним, первым по ходу движения конвейера рядом и вторым горизонтальным рядом — свободное пространство; в середине его размещен паровоздушный калорифер *1* (рис. VIII.1).

Горячий воздух подается с обеих сторон сушилки посередине во втором, третьем, четвертом и пятом рядах конвейера. Поступающие через боковые коллекторы *2* и *3* потоки нагретого калорифером воздуха движутся в горизонтальных направлениях от середины сушилки к обоим ее торцам.

Нижний горизонтальный ряд действует как сборный канал, отводящий отработанный воздух. Отбор этого воздуха производится в центральной части сушилки через поперечную трубу, присоединенную к отсасывающему вентилятору *4*. Пройдя вентилятор, часть воздуха выбрасывается наружу через трубу *5*, а часть подсасывается через регулируемый шибером патрубок *6* и в смеси с горячим воздухом из калорифера *1* направляется в сушилку. В сушилках типа

«Тюрингия» взамен калорифера можно использовать горячий воздух из зоны охлаждения туннельной печи.

Изделия на гипсовых формах ставят на полки конвейера через окно *7* и после сушки снимают с форм в окне *8* с противоположной стороны сушилки.

Основные достоинства этой сушилки — небольшой удельный расход тепла, воздуха и электроэнергии. Это достигается благодаря размещению калорифера внутри сушилки и компактностью расположения оборудования.

Техническая характеристика сушилок

	Сушилка фирмы «Тюрингия»	Сушилка ГИКИ для одностадийной сушки
Длина сушилки, м	11 и 14	17
Количество формовочных устройств, обслуживаемых сушилкой	2	4
Температура сушки, °С	От 30 до 70	От 50 до 70
Продолжительность сушки тарелок ∅ 240 мм, ч	4,5	3
Начальная влажность, %	23—24	23—24
Остаточная влажность, %	2—2,5	2—4
Производительность (по опытным данным), шт./ч	430	1000
Площадь, занимаемая сушилкой с выносной цепью, м²	44,4	80
Количество гипсовых форм, находящихся в обороте:		
без выносной цепи	1920	3000
с выносной цепью	2370	4580
Расход на одну тарелку:		
воздуха, кг	20	30
тепла, ккал	254	300
электроэнергии, кВт ч	0,01	0,03
Расход тепла на 1 кг испаренной влаги, ккал	1700	2300

Передвигаясь с конвейером попеременно то в горизонтальном, то в вертикальном направлениях, изделия попадают то в более нагретые, то в более холодные зоны, что тормозит процесс сушки. Поэтому производительность сушилки низкая, и попытки форсировать сушку подачей более нагретого воздуха вызывают перегрев и разрушение гипсовых форм.

С у ш и л к а Г И К И д л я п л о с к и х и з д е л и й. В этой сушилке осуществлено противоточное движение горячего воздуха и изделий в ее верхней части. Горячий воздух нагнетается двумя вентиляторами по двум наружным воздуховодам *1* и *2* (рис. VIII.2) посередине сушилки и разводится наружными патрубками *3* и *4* через щели по всей их длине, что обеспечивает рассредоточенную подачу воздуха. Воздух удаляется из сушилки через систему мелких окон в нижней части сушилки в сборный коллектор *5*, откуда наибольшая часть его, пройдя калорифер *6*, повторяет цикл. Часть воздуха идет через патрубок *7* и трубу в атмосферу.

Благодаря такой системе подачи и отвода воздуха создается равномерный прогрев изделий с постепенным повышением температуры по мере понижения влажности изделий. Поэтому ускорение движения нисходящего потока воздуха в сушилке не вызывает появления трещин и при сушке изделий из масс, чувствительных к быстрой сушке.

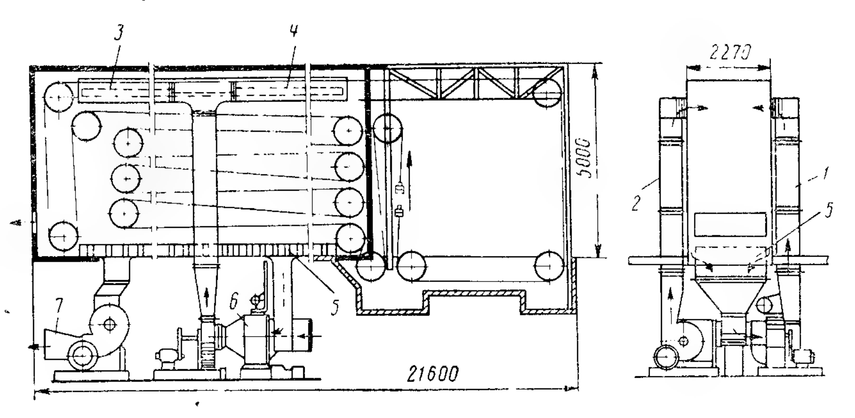


Рис. VIII.2. Схема сушилки ГИКИ

По удельному расходу тепла, воздуха и электроэнергии эта сушилка уступает сушилкам фирмы «Тюрингия», но превосходит их по основным технологическим показателям: производительности, равномерности и продолжительности сушки.

Техническая характеристика сушилки ГИКИ приведена в таблице.

Техническая характеристика сушилки ГИКИ для двухстадийной сушки тарелок

Показатель	Сушка тарелок	
	I стадия	II стадия
Длина сушилки, м	8	6
Количество формовочных устройств, обслуживаемых сушилкой	4	—
Количество подсобных рабочих при работе без автомата-перестанителя	1	—
Продолжительность сушки тарелки ∅ 240 мм, мин	50	40
Температура воздуха в сушилке, °С	80	105—120
Остаточная влажность, %	13—14	1,5—2
Производительность сушилки, шт./ч	600	600
Количество гипсовых форм, находящихся в обороте	1000	
Расход тепла на 1 кг испаренной влаги, ккал	1800—1900	

2. ДВУХСТАДИЙНАЯ СУШКА ТАРЕЛОК

Высушиваемые изделия находятся на гипсовых формах только до влажности 13—14%, при которой заканчивается усадка. Это первая стадия сушки. Затем изделия снимаются с форм и переставляются в сушилку второй стадии сушки, где сушатся до влажности 1,5—2%. Для перестановки изделий и для съема окончательно высушенных изделий можно применить автоматы-переставители, действующие с помощью вакуум-присоса.

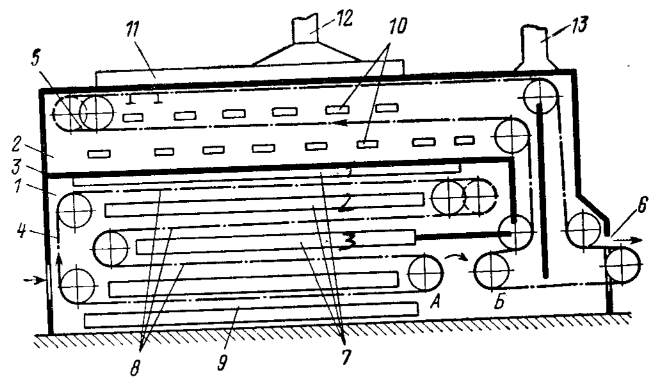


Рис. VIII.3. Схема сушилки ГИКИ для двухстадийной сушки тарелок

При двухстадийном способе сушки изделий с повышением температуры воздуха в 3—3,5 раза уменьшается количество форм, находящихся одновременно в обороте, увеличивается их оборачиваемость, повышается вдвое съем продукции с 1 м² площади цеха, снижается удельный расход тепла, воздуха и электроэнергии.

Форсирование двухстадийной сушки плоских изделий может быть осуществлено в первой стадии созданием направленных потоков посредством распределительных насадок, из которых производится обдув каждой тарелки воздухом (из туннельной печи), нагретым до 75° С, в течение 14—15 мин. Во второй стадии сушки при отсутствии отходов горячего воздуха можно применить радиационные газовые горелки инфракрасного и красного излучений. Температура нагрева изделий к концу сушки 130—150° С, длительность сушки 12 мин.

Общая длительность сушки тарелок диаметром 240 мм может быть доведена до 30 мин. Количество гипсовых форм в обороте около 600, производительность сушилки 1200 шт./ч.

Сушилка ГИКИ для двухстадийной сушки состоит из двух ярусов (зон) *1* и *2* (рис. VIII.3), разделенных горизонтальной перегородкой *3*. В этих зонах расположены цепные люлечные конвейеры *4* и *5*. Движение их синхронное и пульсирующее, что обеспечивает включение сушилки в автоматизированную поточную линию. Скорость может быть различной, например движение 4,5 с и выставание 13,5 с. Изделия на гипсовых формах поступают через окно *6*.

В позиции *А* производится съем изделий с гипсовых форм и перестановка изделий при влажности 14% (может быть применен автомат-перестановщик) в позицию *Б* на конвейер *5*. Высушенные изделия, имея влажность около 1%, вынимаются через окно *6*.

В нижнем ярусе производится первая стадия сушки тарелок на гипсовых формах, а также сушка гипсовых форм, возвращающихся по самой нижней ветке конвейера к месту формования.

В верхнем ярусе осуществляется окончательная сушка полуфабриката.

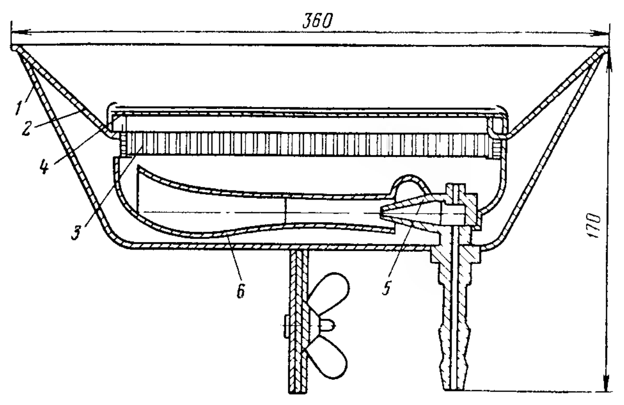


Рис. VIII.4. Схема газовой горелки для сушки чашек

Для сушки тарелок в первой стадии применяется направленный поток горячего воздуха, имеющий температуру 65—70° С. Тепло подается через три распределительных короба *7*, размещенных над полками конвейера *8* с изделиями. Внизу коробов имеются насадки с перфорированной поверхностью. Скорость истечения струй нагретого воздуха из отверстий 13—15 м/с.

Отработанный воздух отсасывается через отверстие в коробе *9* под самой нижней ветвью конвейера. Часть воздуха, имеющая температуру около 50° С, направляется на рециркуляцию, часть — на выброс.

Во второй зоне сушки (так же как и в первой) тарелки размещаются донышками кверху и опираются уже не на гипсовые формы, а на узкие кольцевые металлические подставки, обеспечивающие доступ горячего воздуха к обеим сторонам тарелки.

Сушка изделий во второй стадии производится за счет радиации, создаваемой с помощью горелок красного и инфракрасного излучений. Горелки *10* размещаются под изделиями на расстоянии 150—250 мм.

Влажный воздух удаляется через коллектор *11* и трубу *12*.

Так как тарелки нагреваются во второй стадии сушки до 110° С, то предусмотрено охлаждение, достигаемое прососом воздуха снизу из цеха с удалением через трубу *13*.

Газовая горелка излучения состоит из металлического четырехугольного корпуса *1* (рис. VIII.4) с рефлектором *2*, керамического

излучателя *3* *, прикрытого нихромовой сеткой *4*, одновременно выполняющей функцию стабилизатора горения, форсунки *5*.

Газ, вытекая из форсунки в смеситель *6*, инжектирует воздух для сжигания. Газо-воздушная смесь проходит во внутреннюю полость распределительной камеры и далее — через мелкие параллельно расположенные канальчики в огнеупорном керамическом излучателе *3* к его наружной поверхности, где происходит процесс беспламенного горения газа.

Наружная поверхность керамического излучателя нагревается до 750—900° С.

Имеются разнообразные конструкции радиационных горелок, различающиеся также площадью горения, способом подачи и смешивания газа с воздухом, креплением и т. д.

Техническая характеристика горелок Камышинского опытного завода

	КГЗ	ГИИВ-1
Тепловая нагрузка, ккал/ч	4000	4500
Расход газа при его теплотворной способности 8000 ккал/м³, м³	0,44	0,56
Давление газа, Па (мм вод. ст.)	1085,3 (110)	2466,6 (250)
Размеры излучателя, мм	170×190	140×240

Для смягчения режима сушки и экономии тепла рекомендуется комбинированный режим, при котором изделия подвергаются попеременно радиационному нагреву и воздействию высокотемпературного потока смеси продуктов горения газа из горелок и воздуха.

Горелки размещены в сушилке через один ряд полочек-люлек. Часть отходящих продуктов горения в смеси с воздухом отводится из второй зоны через короб и подается вентилятором в первую зону сушилки.

По ширине сушилки размещаются 8 тарелок. Продолжительность обеих стадий сушки 14 + 13 = 27 мин. Производительность сушилки длиной 9 м составляет 1200 шт./ч.

В сушилке находится одновременно 520 гипсовых форм. Расчетный удельный расход тепла около 1500—1600 ккал/кг испаренной влаги.

Другой вариант двухстадийной сушки тарелок представлен конструкцией фирмы «Липперт». В этой сушилке оба конвейера размещены также в одном корпусе, но последовательно-горизонтально. Температура сушки в первой стадии 60, во второй 110° С. Расход тепла по данным фирмы составляет 1200 ккал/кг испаренной влаги.

Общий недостаток механической части линейных сушилок — провисание цепей конвейера и связанное с этим смещение осей высушиваемых изделий и осей патрубков, посылающих струи горячего воздуха на поверхность изделий. Вследствие этого возникает неравномерность сушки со всеми последствиями. Для ослабления этого недостатка применяют регулирование натяга цепей и соосности и другие меры.

* Состав массы керамического излучателя: часов-ярская глина — 45%, каолин — 25%, тальк — 25%, окись хрома — 5%.

Как видим, общий принцип, принятый в сушилках нового типа, состоит в направленном подводе горячего воздуха, обычно путем осесимметричного индивидуального размещения высушиваемых изделий и патрубков (сопел), направляющих теплоноситель. Этот принцип позволил значительно ускорить сушку тонкокерамических изделий, но вместе с тем усложнил конструкции сушилок и вызвал дополнительные трудности, связанные с необходимостью поддержания соосности изделия и сопла.

3. ДВУХСТАДИЙНАЯ СУШКА ЧАШЕК

Тонкостенные чашки можно высушивать в две стадии в конвейерной сушилке системы ГИКИ.

Сушилка состоит из двух сопряженных конвейеров — горизонтального *1* (рис. VIII.5) и вертикального *2*. Движение цепей обоих конвейеров синхронизировано. Пульсирующее перемещение цепи на одну позицию происходит через 30 с. Заформованные в гипсовых формах изделия поступают через окно *3* на полки вертикального конвейера. В месте сопряжения обоих конвейеров происходит посадка полок на горизонтальный конвейер.

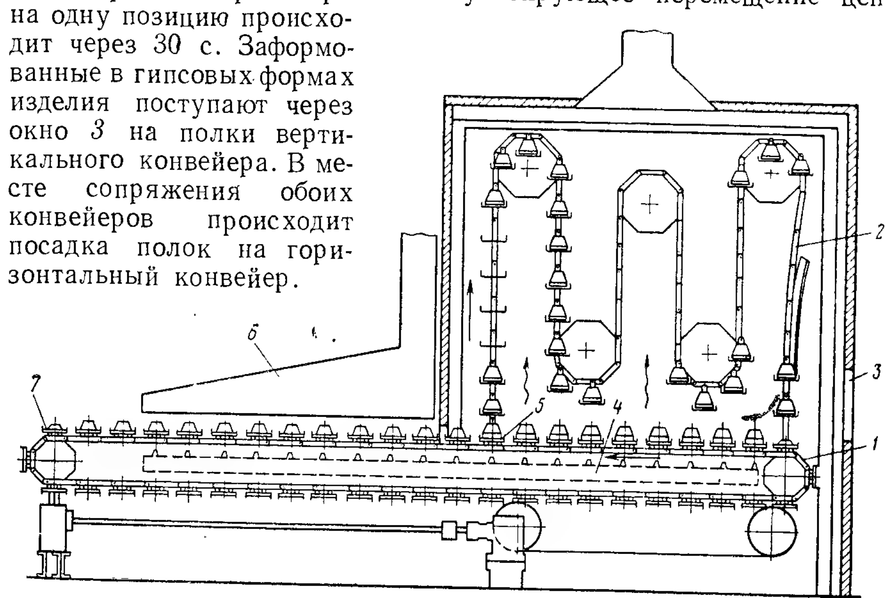


Рис. VIII.5. Схема радиационного нагревателя для сушки чашек

Нагрев и сушку чашек можно осуществлять на этом конвейере двояким способом: либо обдувом полости чашек направленными струями воздуха температурой 90—100° С, выбрасываемыми из сопел коллектора *4*, либо излучением от накаленной нихромовой спирали (радиационный нагрев). Длительность подвяливания чашек в формах 5 мин до 18%-ной влажности.

Придя в позицию *5*, изделия, отделившиеся при подсыхании от гипсовых форм, садятся на нижерасположенные металлические приемники-подставки, оставаясь на том же конвейере *1*. Полки с пустыми гипсовыми формами подхватываются боковыми лапками вертикального конвейера *2* и движутся вверх, проходя сушку поднимающимся теплым воздухом. Выборка подсохших гипсовых форм производится через то же окно *3*.

Чашки на подставках перемещаются на горизонтальном конвейере *1* и одновременно высушиваются с помощью электроизлучателей и обдуваются горячим воздухом температурой 105—110° С

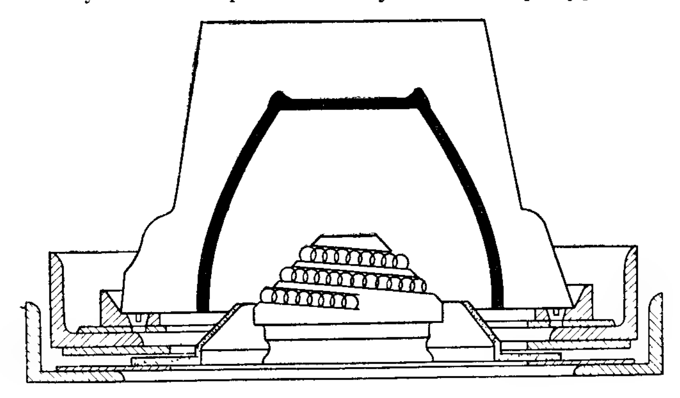


Рис. VIII.6. Узел формовки и сушки чашек фирмы «Сервис»

из зонта *6* или при варианте сушилка с направленным обдувом высушиваются горячим воздухом.

В позиции *7* производится съем высушенных изделий.

Узел формовки и сушки чашек фирмы «Сервис» показан на рис. VIII.6.

Приставка ручек к корпусам тонкостенных чашек производится при остаточной влажности их около 1%.

Чашки нормальной толщины (2,5 мм) или кружки (3—3,5 мм) сушатся по двухстадийной системе в двух разных сушилках: в первой до 14—16% влажности, при которой производится влажная оправка изделий и приставка ручек, и во второй — до 1,5—2% влажности. Первая сушилка может быть такой же, как на рис. VIII.5, но с укороченным на 8 позиций горизонтальным конвейером.

Из двух вариантов сушки — радиацией и обдувом направленными струями горячего воздуха — последний более целесообразен, так как электронагреватели требуют больше внимания при эксплуатации, а стоимость электроэнергии выше стоимости горячего воздуха из туннельных печей.

Техническая характеристика сушилки ГИКИ при двухстадийной сушке тонкостенных чашек

	I стадия	II стадия
Начальная влажность изделий, %	23—24	—
Конечная влажность изделий, %	—	1

Температура сушки, °С	80—90	130—180
Производительность сушилки, шт./ч	1000	
Длительность сушки, мин	5	8
Общий расход электроэнергии на перемещение конвейера, кВт/ч	—	1

Горячий воздух для сушки можно подать из зоны охлаждения туннельных печей или создать подогрев паровым калорифером. Отдав часть своего тепла, воздух поднимается в зону сушки гипсовых форм.

Отработанный воздух используется частично для подсушки гипсовых форм и частично направляется для рециркуляции.

На последних двух позициях перед съемом высушенных изделий установлен вентилятор для их обдувания и охлаждения. Длительность сушки гипсовых форм 20—22 мин.

Быстрая подвялка чашек для последующей их оправки и приставки ручек с 21 до 18% влажности может быть произведена за 70 с при 200—250° С в полуавтоматическом сушильном агрегате фирмы «Сервис» (рис. VIII.7). Основные части этого агрегата: вакуум-мялка *1*, пульт управления *2*, формовочный полуавтомат *3* производительностью 20 шт. мин, карусельная сушилка *4*, в которой имеются 24 позиции — стальные круги-гнезда в конвейере для размещения в них гипсовых форм с изделиями. Ручная выемка изделий после подсушки и перестановки их на конвейер для оправки и приставки ручек выполняется на позиции *5*.

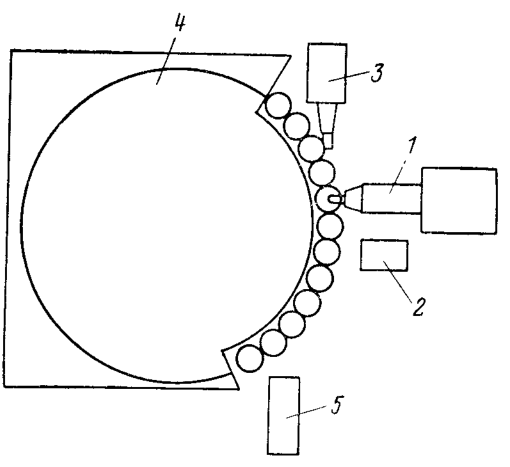


Рис. VIII.7. Сушильный аппарат с газовой горелкой для инфракрасного излучения фирмы «Сервис»

Нагрев сушилки производится сверху потоком продуктов горения — смеси газов с воздухом при направленном движении струй. Расход тепла по данным фирмы — 200 ккал мин (0,24 м³ газа).

Движение конвейера пульсирующее, продолжительность одного цикла 3,5 с.

Вследствие небольшого срока службы (до ста формовок) гипсовых форм их приходится сменять дважды в смену. За один оборот фóрма поглощает около 2 г влаги.

Карусельные сушилки, отличаясь простым устройством, все же менее перспективны по сравнению с конвейерными, так как их форма нарушает ритм размещения производственных узлов — создается петля в общем направлении движения изделий, кроме того, возникает необходимость в некотором увеличении площади цеха.

4. ДЛИТЕЛЬНОСТЬ СУШКИ

Рассматривая работу новых типов сушилок и принятые в них условия, а также длительность сушки тонкокерамических изделий, можно признать, что практически почти достигнут предел длительности сушки чашек и тарелок во второй стадии сушки. Длительность безопасной для целостности чашек сушки, доводимой до 1% остаточной влажности, близка 3 мин, а необходимая температура составляет 200° С (рис. VIII.8).

Рис. VIII.8. График предела длительности сушки тарелок (*1*) и чашек (*2*) в зависимости от температуры

Повышение скорости движения теплоносителя более 3—4 м/с на длительности сушки чашек сказывается уже незначительно.

При дальнейшем ускорении сушки чашек нормальной толщины (2,5 мм) во второй стадии создается опасность возникновения брака. На качество сушки оказывает некоторое влияние состав керамической массы. Так, например, масса на трошковской глине устойчивее в сушке, чем на веселовской.

Что же касается длительности второй стадии сушки сервизных фарфоровых тарелок диаметром 240 мм, то срок в 10 мин, по-видимому, близок к пределу при температуре 140° С и при скорости движения теплоносителя 3—4 м/с.

Относительно длительности первой стадии сушки можно заметить, что в ней имеется некоторый резерв, который может быть использован при замене материала форм (гипса) иным, позволяющим повысить температуру сушки более 70° С, например пористой керамикой.

ГЛАВА IX
ОБРАЗОВАНИЕ ФАРФОРА И ФАЯНСА

Процессы, протекающие в керамической массе при обжиге, могут быть представлены последовательными реакциями дегидратации, диссоциации, окисления, восстановления и синтеза новых фаз из исходных. В результате реакций керамическая масса (смесь минеральных компонентов) становится керамическим материалом с теми свойствами, которые создаются при проведении этих реакций.

1. УДАЛЕНИЕ ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ ВЛАГИ

Быстрое удаление гигроскопической влаги из обжигаемого изделия может вызвать появление трещин в нем.

Абсолютно сухие тонкокерамические изделия можно нагревать до 600—700° С за несколько минут без опасения за их целостность.

Практически изделия поступают в туннельную печь, имея влажность 2—4%, иногда и выше, и обжиг начинается при постепенном нагреве до температуры 250° С.

При низких температурах изделий может возникнуть конденсация паров воды из дымовых газов на их поверхности. Если температура будет ниже «точки росы» в обтекающих дымовых газах, то начнется конденсация влаги на изделиях. Керамическая масса размягчится, и в дальнейшем возникнет увеличенная усадка поверхностных слоев (сравнительно с глубинными участками изделия) при повторной сушке изделий в начале обжига. Такая разница усадок может вызвать появление мелких поверхностных трещин. Кроме того, на поверхности изделия могут возникнуть сульфатные пятна как результат растворения сульфатных солей в конденсирующейся влаге. Серная кислота образуется в дымовых газах при горении топлива, содержащего серу.

2. РЕАКЦИИ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ НАГРЕВЕ ДО ТЕМПЕРАТУРЫ 1000° С

Удаление конституционной влаги. Удаление этой влаги из глинистых минералов происходит в интервале температур 450—850° С, остатки ее удаляются при 1000° С.

Максимум удаления конституционной воды у каолинов происходит при температуре 580—600° С.

По опытам П. П. Будникова и др. [1] просяновский каолин отдает при температуре 600° С за 10 мин 12,2% своей конституционной влаги из имеющихся 13,4%. Однако в туннельных печах с их массивным теплопоглощающим подом вагонеток и с садкой изделий на этажерках и в капселях процесс дегидратации продолжается 2—3 ч.

Так как основным глинистым минералом в фарфоровых и фаянсовых массах является каолинит, рассмотрим физико-химические явления, происходящие при его прокаливании.

Как известно, первое систематическое изучение реакционной способности каолина, выполненное в 1910 г. Соколовым, показало усиленную дегидратацию каолинита при температуре 550—800° С и вместе с тем позволило установить интервал температур, в котором связи между ионами в кристаллической решетке каолинита настолько ослабевают, что ион алюминия может быть легко извлечен из нее растворением в 6%-ной HCl. При дальнейшем нагревании дегидратированного продукта или метакаолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ происходит в нем образование новых кристаллических фаз, связи между ионами Al^{3+}, Si^{4+}, O восстанавливаются, но уже в новых сочетаниях, термодинамически более устойчивых, и ион алюминия уже нельзя извлечь растворами кислот.

Термодинамическое изучение реакций, протекающих в каолинах, показало наличие при температуре до 1000° С двух тепловых эффектов при 550—8[illegible]° С — эндотермического, которому соответствует дегидратация, и около 980° С — экзотермического.

Первая реакция состоит в освобождении и выделении гидроксильных групп, образующих молекулы воды, и в ослаблении связей у иона алюминия с общей решеткой метакаолинита, что обеспечивает легкую растворимость этого иона в кислотах и в растворах щелочей.

Установлено, что чем более неупорядочена структура каолинита, тем легче он дегидратируется и тем ближе к 550° С наблюдается минимум эндоэффекта. В то же время у более упорядоченного по своей структуре диккита температура дегидратации ближе к 700° С.

Минимум эндоэффекта соответствует выделению приблизительно 3/4 конституционной воды, что составляет три молекулы из четырех, приходящихся на элементарную ячейку каолинита $2\ (Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \times \times 2H_2O)$. Последняя, четвертая, молекула воды может быть удалена при более высокой температуре. Это обстоятельство свидетельствует о неравнозначности размещения гидроксильных групп в элементарном пакете каолинита и стало известно из ранних структурных построений Грюнера, Хендрикса и др.

Остаток каолинита после дегидратации (метакаолинит) не вполне рентгеноаморфен. Обнаруживаются рентгеновские рефлексы у каолинита, прокаленного при температуре 650° С (по данным Хилла) и даже при 825° С (по данным Роя и Френсиса). Это дало основание различать две фазы метакаолинита. Переход метакаолинита из фазы I в метакаолинит фазы II сопровождается, по данным Ранге [2], изменением его электропроводности, которая становится на целый порядок выше в направлении плоскости пакетов каолинита, чем перпендикулярно им, и объясняется высвобождением некоторой части протонов (H^+) из гидроксильных групп.

Первая экзореакция. Хорошо выраженный экзоэффект при температуре 980—1000° С в каолините вызвал ряд гипотез. В 30—40 гг. экзоэффект относили к кристаллизации $\gamma - Al_2O_3$. Высказывали соображение, что эта фаза, находясь в нестабильном состоянии и реагируя с SiO_2, образующимся при дальнейшем нагревании и разрушении подрешетки из тетраэдров $[SiO_4]$, образует муллит — $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$. Эта гипотеза находит сторонников и в наши дни [3].

В 1959 г. Г. Бриндли и М. Накахира [4] опубликовали результаты своих исследований и высказали предположение о причинах первого экзоэффекта, кроющихся в образовании метастабильной фазы в виде алюмокремниевой шпинели $Si_3Al_4O_{12}$ как результат гипотетической реакции

$$2\ (Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \rightarrow 2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 + SiO_2$$

Структура алюмокремниевой шпинели по Бриндли—Накахира такова, что ионы кремния находятся в тетраэдрах, а ионы алюминия — в недостроенных октаэдрах. Вследствие этого правило электростатической валентности полностью не удовлетворяется, имеются вакантные места в октаэдрах, и шпинель электростатически неустойчива, что и приводит впоследствии к перестройке ее в структуру муллита.

Последующие попытки индентифицировать фазу шпинели, предпринятые К. Мак-Кинзи с помощью прецизионного метода эффекта Мессбауера, с применением инфракрасного анализа по данным Тарте и других не смогли внести большей ясности.

В поисках причин появления первого экзоэффекта при температуре 980° С Никольсон и Фулрат отнесли этот эффект даже к кристаллизации β-кварца из аморфного кремнезема.

Вопрос о природе первого экзоэффекта остался нерешенным, и возможно, давнее предположение Д. С. Беляпкина, Б. В. Иванова и В. В. Лапина [5] о появлении при температуре 980° С в системе $Al_2O_3 - SiO_2$ скрытокристаллического муллита более близко действительности, чем шпинели Бриндли—Накахира.

Во всяком случае метакаолинит не является смесью свободных окислов, так как теплота растворения этого продукта в плавиковой кислоте не равна сумме теплот растворения чистых окислов Al_2O_3 и SiO_2 в отдельности, как это показали исследования Б. С. Швецова и Х. О. Геворкяна [6]. Кроме того, на комплексных термограммах каолинов и каолинитовых глин при температуре 980—1050° С происходит скачкообразная усадка, свидетельствующая о резком уплотнении материала.

В связи со сказанным второй небольшой экзоэффект в этой системе при температуре 1150—1250° С относят к собственно кристаллизации муллита.

Третий, еще меньший экзоэффект при температуре 1240—1300° С, обнаруживаемый у наиболее чистых каолинов, относят к кристаллизации кристобалита из аморфного кремнезема, остающегося при образовании муллита по реакции

$$3\ (Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 4SiO_2 .$$

При наличии примесей-плавней этот эффект не обнаруживается, так как поглощается эндотермической реакцией образования стеклофазы. Поэтому на термограмме фарфоровой массы, содержащей много плавней, не отмечаются ни третий, ни даже второй экзоэффекты.

Некоторые физические характеристики муллита таковы. Коэффициент линейного расширения муллита по осям:

$$\alpha_a = 5{,}2 \times 10^{-6}, \quad \alpha_в = 7 \times 10^{-6}, \quad \alpha_0 = 2{,}4 \times 10^{-6},$$

в интервале температур 25—800° С. Такая разница в коэффициентах говорит о большой тепловой анизотропии кристаллов муллита, что можно связать с неодинаковой способностью развития граней кристалла, растянутостью процесса кристаллизации и дефектностью его решетки, способной в связи с этим к образованию твердых растворов с Al_2O_3 и Fe_2O_3.

Теплота образования муллита принимается равной 26,96 ккал/моль; энтропия + 7,95 э. е./моль; термодинамический потенциал равен 2,23 ккал/моль и 5,6 ккал/моль при 1550° С.

Константа скорости образования муллита из кварца и глинозема, по А. С. Бережному и Р. А. Кордюку [7] равна

$$3{,}1 \cdot 10^{12} \exp(-119400/RT).$$

Высокое значение энергии активации в приведенном выражении говорит о стабильности муллита при низких температурах, хотя энтропия образования муллита, как мы видели, невелика.

Температура конгруентного плавления муллита, по данным Н. А. Торопова и Галахова, равна 1910° С, а по данным Арамаки и Роя 1850° С.

В гидротермальных условиях муллит образуется по исследованиям Сегава при температуре 500—575° С. К. Мак-Кинзи [8] исследовал влияние нескольких газов на образование муллита в английском каолине, обожженном за 4 ч при температуре 1100° С (табл. IX.1).

Таблица IX.1

Влияние среды на образование муллита

Среда	Давление, Па (мм рт. ст.)	Муллит, %
CO_2	60 228 (760)	10
O_2	60 228 (760)	12
Воздух	60 228 (760)	17
Азот	60 228 (760)	28
Водород	60 228 (760)	33
Водяной пар	60 228 (760)	60
Вакуум	$133 \cdot 10^{-4}$	52

Как видно из табл. IX.1, особенно эффективно действует водяной пар. Положительное действие водяного пара на образование муллита в шамотных массах наблюдал также Т. Ао [9].

На многих отечественных фарфоровых заводах успешно внедрен разработанный в институте ГИКИ способ обжига фарфора с вводом распыленной воды в факел природного газа. При этом увеличивается количество муллита, ускоряется процесс развития стеклофазы, улучшается равномерность уплотнения материала, обеспечивается однородность температурно-газового поля. В результате введения распыленной воды в пламя топлива белизна фарфора повышается, а количество огневых дефектов уменьшается [10].

О минеральном влиянии окислов на муллитообразование проведено много исследований. Используя эти исследования, К. Мак-Кинзи построил графическую зависимость степени муллитообразования от эффективного радиуса (э. р.) катиона окисла, что было ранее отмечено М. Ф. Назаренко и нами [11]. Однако предположение К. Мак-Кинзи о том, что катионы действуют в этом отношении тем интенсивнее, чем меньше их э. р., иногда не совпадает с опытом. Так, например, по К. Мак-Кинзи, Ti^{3+} (э. р. равен 0,69 Å) неэффективен, тогда как TiO_2 (э. р. Ti^{4+} почти такой же величины 0,64 Å) — сильный минерализатор.

Подобные наблюдения, в той или иной мере укрепляющие представления о температурном уровне и о влиянии минерализующих добавок (газов и твердых тел) на образование первичного муллита в пределах кристаллической решетки метакаолина, интересны не только в методическом отношении; они могут иметь непосредственное технологическое применение. Так, например, И. Я. Юрчак использовал добавку нефелинового сиенита для усиления кристаллизации муллита в фарфоровых массах, Лапин и Госин использовали ион Fe^{3+} для получения железосодержащего муллита, чем

повысили кислотостойкость и термостойкость керамики. Хизанишвили широко использовал арагацкий перлит как добавку и как заменитель полевых шпатов, способствующий муллитообразованию в разных типах керамических масс и т. д.

Реакции полиморфного превращения и декарбонизации. Как известно, полиморфное превращение β-кварца в α-кварц протекает при температуре 575° С и сопровождается увеличением объема кварцевых зерен почти на 2%. Вследствие значительной пористости материала обжигаемых изделий в этот период и свободного объема пор рост кварцевых зерен происходит без возникновения значительных напряжений в материале изделия, и трещины не появляются. Реакционная способность кварца при полиморфном превращении резко возрастает (эффект Хэдвелла), что может быть использовано при введении соответствующих минерализующих добавок.

Декарбонизация происходит главным образом в фаянсовых и майоликовых массах и состоит в диссоциации $MgCO_3$ и $CaCO_3$. Диссоциация магнезиальной составляющей доломита ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) начинается при температуре 500° С. Известняковая составляющая доломита и известняк заметно диссоциируют при температуре выше 920° С. Обе реакции заканчиваются практически при температуре 1000° С:

$$MgCO_3 \cdot CaCO_3 \rightarrow MgO \cdot CaO + 2CO_2$$

Выделяющийся CO_2 не вызывает порока в изделиях — вздутий, если свободно выходит по капиллярам и порам, которые не должны быть еще заплавлены жидкой стекловидной фазой ко времени завершения реакций декарбонизации.

Реакции образования и выгорания углерода. При температуре от 200 и до 400° С в порах обжигаемого изделия адсорбируется сажистый углерод из дымовых газов. При 400° С начинается выгорание этого углерода и заканчивается оно при температуре 1000° С.

По опытам С. Г. Туманова и В. А. Смирновой [12] углерод выгорает как в окислительной, так и в восстановительной газовых средах при малой и при большой скоростях подъема температуры. Одновременно происходит пирогенетическое разложение гуминовых веществ, содержание их в фарфоровых глинах и в каолинах составляет 0,1—0,2%. Вследствие этого обжигаемая масса науглероживается. В окислительной газовой среде выгорание углерода протекает более интенсивно, чем в восстановительной. В то же время при температуре 950—1000° С образуется заметное количество жидкой стекловидной фазы. Если при температуре 1000° С в изделии останется невыгоревший углерод или сохранятся остатки неудаленной конституционной влаги, то может произойти образование вздутий («прыща») вследствие заплавления жидкой фазой некоторой части капилляров.

Необходимость завершения реакций выгорания углерода, дегидратации и декарбонизации до интенсивного образования жидкой фазы

требует некоторой задержки в подъеме температуры. На режимной кривой обжига назначается первая выдержка при температуре 920—1040° С. Газовая среда при этом окислительная. Длительность первой «выдержки» осуществляется в большемерных туннельных печах около 3,5 ч (применительно к обжигу хозяйственного фарфора).

Фарфор к концу выдержки приобретает розовато-желтоватый оттенок.

Если окислительная среда при первой выдержке в силу тех или иных конструктивных причин в печи локально заменяется восстановительной, то может произойти повторное науглероживание массы вследствие диссоциации метана, всегда присутствующего в газах горения жидкого топлива за счет реакций:

$$CO + 3H_2O \rightarrow CH_4 + H_2O \text{ и } C + 2H_2 \rightarrow CH_4$$

3. РЕАКЦИИ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ОБЖИГЕ ВЫШЕ 1000° С

Эта группа реакций охватывает восстановление окисных соединений железа и сульфатов, расплавление полевых шпатов или их заменителей и растворение в расплаве метакаолина и кварца, кристаллизацию муллита и кристобалита.

Для восстановления окисных соединений железа требуется создание восстановительной среды при температуре 1000—1250° С. Далее, начиная с 1250° С до конечной температуры обжига фарфора поддерживается «нейтральная» газовая среда. Завершается обжиг выдержкой при достигнутой температуре. После выдержки следует охлаждение, проводимое с учетом протекания реакций полиморфного превращения и возникающих микронапряжений. Рассмотрим ход реакций.

Р е а к ц и и, с в я з а н н ы е с в о с с т а н о в л е н и е м. Восстановительные условия создаются увеличением концентрации CO в продуктах горения топлива при температуре от 1000 до 1250° С. Восстановительные условия вызывают ряд реакций. Схемы этих реакций следующие:

$$6Fe_2O_3 + 2CO \rightarrow 4Fe_3O_4 + 2CO_2; \; Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2;$$
$$O_2 + 2CO \rightarrow 2CO_2; \; 2FeO + SiO_2 \rightarrow 2FeO \cdot SiO_2$$

Образуется файалит $FeO \cdot SiO_2$ — бесцветное легкоплавкое соединение и другие алюмосиликатные бесцветные соединения закиси железа, что создает эффект отбеливания фарфора.

Восстановительная среда способствует также восстановлению сульфатов в сульфиты и сульфитов в окислы:

$$CaSO_4 + CO \rightarrow CaSO_3 + CO_2;$$
$$CaSO_3 + CO \rightarrow CaO + SO_2 + CO_2$$

В фарфоровой массе может находиться до 0,03% серы, считая на SO_2. Образующийся сернистый газ может принять участие в образовании вздутий в обжигаемом фарфоре. При температуре 1200—

1300° С количество серы в фарфоре уменьшается после этих реакций примерно в десять раз.

Появление закисных соединений железа при восстановлении благоприятствует более раннему образованию стекловидной фазы и содействует увеличению интервала спекания массы. С технической стороны эти реакции важны тем, что прочностные свойства фарфора значительно улучшаются, как это видно, например, по опытам С. Г. Туманова и В. А. Смирновой (табл. IX.2).

Т а б л и ц а IX.2

Влияние восстановительной среды на свойства фарфора

Газовая среда	Прочность фарфора при изгибе, МПа (кгс/см²)		Удельное сопротивление, Ом/см	Электрическая прочность при пробое, мм²	Объемная масса, г
	неглазурованного	глазурованного			
Восстановительная, содержание CO 3—4%	65,7 (670)	80,4 (820)	$1{,}2 \cdot 10^{13}$	19,2	2,39
То же, содержание CO 6—8%	76,6 (680)	75,5 (770)	$1{,}6 \cdot 10^{13}$	19,5	2,39
Окислительная	62 (630)	—	$4{,}7 \cdot 10^{11}$	4,8	2,34

Р е а к ц и и, с в я з а н н ы е с р а с п л а в л е н и е м п о л е в о ш п а т о в о й с о с т а в л я ю щ е й и р а с т в о р е н и е м г а з о в. Роль полевых шпатов или их заменителей при спекании фарфора заключается в образовании стекловидной фазы и в частичном растворении в ней метакаолина, кварца и других более составных частей массы.

В частности, благодаря растворению и насыщению полевошпатового расплава диффундирующими ионами алюминия возникают условия для кристаллизации в расплаве муллита. Этот муллит рассматривают как вторичный. Расплавление зерен полевого шпата менее 100 мкм в поперечнике наблюдается при температуре 950—1100° С. Ему предшествует потемнение частиц полевого шпата. В более крупных частицах полевого шпата в этом интервале температур заметны прожилки стекла, образующегося по плоскостям спайности.

Отношение калиевого и натрового полевого шпата к нагреванию может быть характеризовано изменением высоты образца, спрессованного из порошка цилиндрика при повышении температуры, создаваемой микропечью в так называемом нагревательном микроскопе.

Температурный диапазон между условным началом размягчения, характеризуемым округлением краев спрессованного образца-цилиндрика и началом плавления и образования полусферы из этого цилиндрика, составляет у калиевого полевого шпата 210° С, у натрового шпата только 65° С. Кроме того, вязкость расплава калиевого полевого шпата при температурах обжига фарфора на один порядок выше, чем натрового (соответственно 10^{14} и 10^{13} пуаз),

что способствует большему сопротивлению деформации при обжиге фарфора.

Пористость в фарфоре при вводе в массу натрового полевого шпата выше, чем при использовании калиевого полевого шпата.

В расплаве полевого шпата могут возникнуть пузырьки газа, способствующие образованию вздутий на поверхности фарфора.

Наряду с тем, по данным Клейнера, механизм появления частных вздутий в фарфоре [13] связан с растворением газов в расплаве полевого шпата и с выделением их из расплава.

Растворение газов может быть выражено уравнением Таммана [14]:

$$\frac{1}{a} \cdot \frac{\alpha \lg a}{\alpha T} = -\frac{1}{T},$$

где a — адсорбционный коэффициент (по Оствальду), представляющий собой объем газа в мл, растворенного в 1 мл растворителя.

Уравнение показывает, что с повышением температуры растворимость газов уменьшается. В то же время степень растворимости каждого газа в отдельности, по правилу Рауля, характеризуется его парциальной упругостью. Естественно, растворимость растет с повышением концентрации газа в смеси.

Таким образом, во время обжига фарфора (фаянса) в каждом участке печи создается состояние подвижного равновесия между упругостью газов в газовом потоке и растворимостью их в стекловидной фазе. При резком повышении температуры, например вблизи горелок, подвижное равновесие может нарушиться, растворимость газов в расплаве резко уменьшится и произойдет их выделение из расплава. При благоприятных условиях мелкие пузырьки сольются в крупные и произойдут местные вздутия фарфора.

Коалесценция пузырьков газа в фарфоре рассмотрена М. Кэблом и С. Расулом [15].

Р е а к ц и и, с в я з а н н ы е с р а с т в о р е н и е м к в а р ц а и м е т а к а о л и н а в р а с п л а в е. При температуре 1100—1150° С расплав полевого шпата способен растворять заметные количества метакаолина и мелкие частицы кварца. С повышением температуры растворимость возрастает. Расплав альбита растворяет сильнее, чем расплав ортоклаза. Так, при температуре 1300° С в расплаве альбита растворяется кварца 25—30%, метакаолина 8—15%; при температуре 1500° С соответственно 60—70 и 18—29%. При тех же температурах в расплаве ортоклаза растворяется кварца 15—20 и 40—50%, метакаолина — 5—10 и 15—25%.

Состав стеклофазы неодинаков: он более кислый вблизи растворяющихся зерен кварца и более основной в области расплавляющихся зерен полевого шпата, как это можно судить по показателям преломления стеклофазы. Показатель преломления (1,535—1,529) стремится по мере увеличения длительности обжига фарфора к некоторой устойчивой величине 1,515. Показатель преломления собственно стеклофазы — 1,48, кварца — 1,53, муллита — 1,65.

При образовании (созревании) фарфора в нем происходят фазовые изменения. Фаза кварца *1* (рис. IX.1) убывает, так как частично растворяется в расплаве, частично переходит в кристобалит *2*; фаза муллита *3* увеличивается до 17—18% при температуре 1350—1360° С, после чего мелкие кристаллики муллита растворяются в расплаве и частично происходит перекристаллизация в более крупные кристаллы. В фарфоре с повышенным содержанием кремнезема, т. е. в более кислой среде, перекристаллизация первичного муллита характеризуется появлением пластинок и чешуек; количество стеклофазы *4* непрерывно растет.

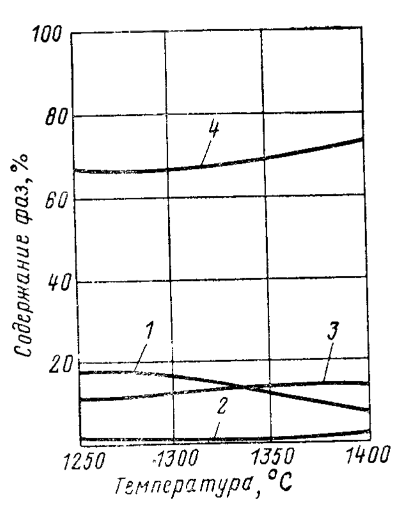


Рис. IX.1. График фазовых изменений в фарфоре при его созревании

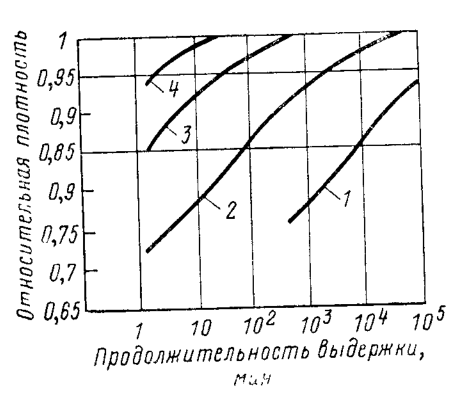


Рис. IX.2. График изменения плотности фарфора при обжиге (по Нортону—Ходгдону)

Суммирующим показателем процессов, происходящих в фарфоре при его обжиге, может служить изменение его плотности. На рис. IX.2 показан график изменения относительной плотности фарфора при обжиге в зависимости от температуры и длительности изотермического нагревания. Значительно интенсивнее действует температура обжига. Чтобы получить одну и ту же относительную плотность, например 0,85 при 1050° С, надо либо быстро поднять температуру до 1150°, либо создать выдержку при 1050° 10^4 мин. Эти данные интересны тем, что показывают возможность (в некоторых пределах, определяемых дискретной реакционной способностью компонентов и экономичностью обжига) взаимосмены главных факторов обжига — температуры и времени.

Более дифференцированное развитие фаз в зависимости от состава фарфора и температуры обжига приведено на рис. IX.3. Содержание стеклофазы (верхняя серия кривых) растет довольно однообразно для фарфора высокой твердости *1*, для твердого *2*, полутвердого *3* и мягкого *4* фарфоров. Разница в количестве стеклофазы между фарфорами *1* и *4* составляет около 15%. Увеличение количества стеклофазы происходит благодаря растворению в ней кварца. Убывание

содержания кварца показано нижней серией кривых для тех же типов фарфора.

Содержание муллита (заштрихованный участок) сохраняется почти постоянным, с тенденцией убывания в мягком фарфоре и при более высоких температурах обжига.

Как видим, в процессе обжига происходят существенные изменения фазового состава фарфора и увеличение его плотности. Кроме этого, наблюдаются радикальные изменения текстуры.

Текстура высококачественного твердого фарфора, по наблюдениям Г. А. Ковельмана и Л. Н. Никулиной [16], представлена стеклоподобным веществом, в котором заметны под микроскопом участки расплавившегося полевого шпата — псевдоморфозы по зернам полевого шпата, потерявшим свои очертания и слившимися с окружающей основной массой. В этих участках обнаруживаются скопления иголочек муллита размером 2—6 мкм. Отдельные более крупные кристаллы муллита видны в основной массе фарфора. По мере удлинения времени обжига размеры крупных кристаллов муллита и количество их увеличиваются, а количество мелких кристаллов уменьшается.

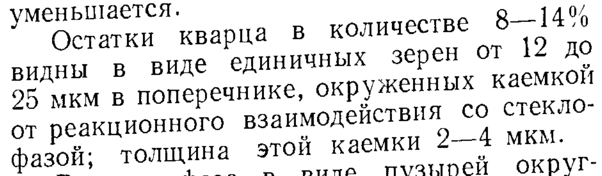


Рис. IX.3. График изменения содержания стеклофазы, кварца и муллита при обжиге у фарфоров разного типа

Остатки кварца в количестве 8—14% видны в виде единичных зерен от 12 до 25 мкм в поперечнике, окруженных каемкой от реакционного взаимодействия со стеклофазой; толщина этой каемки 2—4 мкм.

Газовая фаза в виде пузырей округлой формы диаметром 10—15 мкм составляет до 5%. Кроме того, имеются сообщающиеся поры размером 25—30 мкм в количестве 1—5%.

Фарфор с равномерным распределением кристаллов муллита и мелких зерен кварца обладает лучшими эксплуатационными свойствами, чем с островным, неравномерным распределением муллита и с крупными остатками зерен кварца.

Реакции, связанные с образованием кристобалита и влияние его на прочность фарфора. Как известно, из каолинита и монтмориллонита при обжиге образуется аморфный кремнезем, который частично растворяется в полевошпатовом расплаве, частично может перейти в кристобалит, чему благоприятствует окись натрия, вводимая с плагиоклазом. Образование кристобалита особенно заметно в монтмориллонитовых глинах.

Кварц в обычных условиях обжига фарфора (если выдержка не затянута) не переходит в кристобалит. Количество кристобалита в фарфоре обычного состава не более 4%.

По мнению многих исследователей, кристобалит в фарфоре должен быть отнесен к вредной кристаллической фазе, так как он вызывает появление повышенного влагопоглощения и опасных напряжений при переходе $\alpha \to \beta$ во время охлаждения. Поэтому при применении каолинитомонтмориллонитовых глин (например, трошковской) необходима нейтрализация вредного влияния образующегося кристобалита посредством добавки глин иного типа или достаточного и своевременного развития стекловидной фазы, препятствующей разрыхлению фарфора кристобалитом.

Однако К. Шюллер [17] объясняет высокую прочность японского высоковольтного фарфора превращением кварца в кристобалит в массе, изготовленной на основе фарфорового камня «тосеки»; он же показал возможность получения кристобалитового фарфора прочностью при изгибе до 110 МПа (1120 кгс/см²). У обычного фарфора эта прочность составляет всего 76 МПа (800 кгс/см²).

Исследование К. Шюллера вызвало дискуссию, не закрытую и в настоящее время. Хотя кристобалит (органически связанный, по данным Шюллера, со стеклофазой) и создает поле напряжений сжатия, упрочняющих фарфор, в то же время опыт свидетельствует об отрицательном влиянии кристобалита на плотность фарфора.

Микронапряжения, по данным Штангера, или структурные напряжения, по данным Рике, возникающие вследствие разницы к. т. р. стеклофазы с кристаллическими образованиями в ней и реликтов кварца, отличаются по величине и значимости от макронапряжений, возникающих как результат перепада температур в изделии при быстром охлаждении или вследствие значительной разницы к. т. р. фарфора и глазури. Как известно, к. т. р. глазури должен быть меньше к. т. р. фарфора, что вызывает макронапряжения сжатия, повышающие прочность фарфора.

Сопоставление данных аналитических расчетов Мариаля [18], Генина [19] и Штауда [20] с практическими результатами привело Шюллера к выводу, что существующие модели не пригодны для расчета напряжений и увеличение прочности фарфора зависит и от каких-то других факторов.

4. СПЕКАНИЕ

Изменение фазового состава керамической массы при обжиге, сопровождаемое изменением текстуры и структуры кристаллических составляющих, повышением плотности фарфора, должно обеспечить необходимые эксплуатационные его свойства (механической и электрической прочности, химической стойкости и пр.), что и является основной задачей спекания.

В технологии обжига керамических изделий необходимо знать температуру начала спекания и температуру, при которой происходит наибольшее уплотнение полуфабриката; очевидно, до этой температуры и следует обжигать тот или иной состав массы.

Учитывая некоторую неравномерность температурного поля в печи и перепад температур по толщине обжигаемого хозяйственного фарфора, намечают оптимальную температуру обжига, на 20—30° С превышающую температуру наибольшего уплотнения.

Таблица IX.3

Температуры спекания масс хозяйственного фарфора, °С

Вид фарфора	Температура начала спекания	Температура наибольшего уплотнения	Оптимальная температура обжига	Интервал спекания, в среднем
Высшей твердости	1080	1400	1430	350
Твердый	От 1040 до 1070	1350—1380	1380—1410	340
Полутвердый	1000—1030	1300—1320	1320—1350	320
Мягкий	980	1260	1280	300

Примерные температуры спекания масс хозяйственного фарфора приведены в табл. IX.3.

С повышением твердости фарфора интервал спекания (разница между температурами — оптимальной и начала спекания) несколько увеличивается.

Удлинение интервала спекания (что облегчает технологию обжига) при сохранении одного и того же состава фарфора может быть достигнуто более тонким помолом кварца; происходит большее насыщение расплава кварцем и расплав становится более вязким (Булавин и Бутылева [21]).

Вопрос о крупности зерна кварца для фарфора исследовался неоднократно, и оптимум крупности, учитывая его растворение в полевошпатовом расплаве, характеризуется, по Краузе и Клемпину [22], размерами от 15 до 30 мкм.

Интервал спекания может быть определен с помощью дилатометра. Этот метод позволяет сравнить кривые изменения линейных размеров образца по мере нагревания и судить о скорости и интенсивности спекания разных масс и ходе расплавления глазурей.

На рис. IX.4 приведены кривые изменения линейных размеров образцов, характеризующие спекание фарфоровой массы *1* на гусевском камне, полуфарфоровой массы *2*, глазури к ней *3*, массы для низкотемпературного фарфора *4*, глазури к ней *5*. Более длителен температурный интервал спекания у массы *1* и глазури *6* к ней. Он равен 1000—1380° С, наибольшее уплотнение достигнуто при 1380° С.

Значительно меньший интервал спекания, 950—1200° С, у массы для низкоспекающегося фарфора *4*. Обжиг изделий из такой массы требует более равномерного распределения температур по высоте ставки во избежание деформации и пережога.

Строго говоря, спекание керамической массы начинается при температурах действия твердофазовых реакций (600—700° С). Механизмы твердофазовых реакций многократно изучались и описаны Будниковым и Гинстлингом [23]. Однако все необходимые эксплуатационные свойства керамика приобретает не при твердофазовых реакциях, а в процессе «жидкостного спекания», т. е. при непосредственном участии расплава в области более высоких температур (для фарфора и фаянса 1000—1400° С).

Многочисленные попытки выразить процесс спекания в виде уравнения кинетики для подсчета скорости спекания в зависимости от каких-либо исходных параметров материала не привели к желаемым результатам [24]. Тем не менее разные исследователи (Френкель, Кингери, Мэкензи-Шутлворс, Скороход) характеризуют спекание довольно сходно, а именно: изменение плотности или пористости материала (обычно брался для опытов металлический или стеклянный порошок, т. е. однофазный материал) пропорционально величине поверхностного натяжения расплава γ, и обратно пропорционально радиусу частиц r и коэффициенту вязкости расплава η. Как видим, удается свести кинетику спекания однофазного материала к оценке изменения этих трех факторов именно в области температур, при которых образуется расплав.

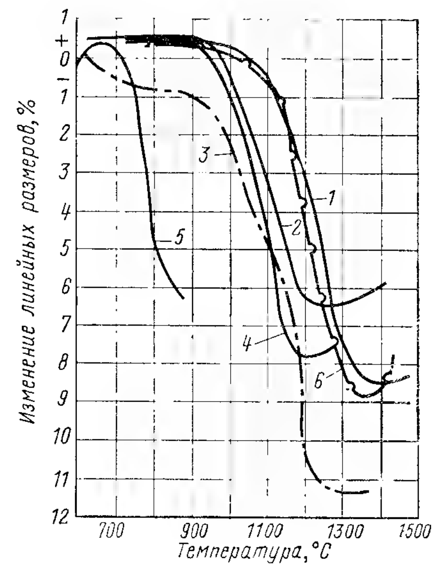


Рис. IX.4. Графики изменения линейных размеров образцов фарфоровых масс и глазури при их обжиге

Среди этих трех факторов наиболее сильное влияние на интенсивность спекания оказывает радиус спекающихся частиц. При изменении радиуса частиц (например, от 50 до 0,5 кмк) интенсивность спекания может увеличиться в 100 раз. В технологическом отношении этот вывод ценен тем, что показывает особую целесообразность применения масс по возможности самого тонкого помола.

Однако в керамике приходится спекать многофазный материал и должны возникнуть новые фазы — осуществляется процесс реакционного спекания. Выразить кинетику такого процесса каким-то единым уравнением невозможно.

По-видимому, целесообразно разделить этот процесс на три физико-химических этапа, определяющих главную особенность каждого из них: 1) плавление легкоплавких твердых фаз; 2) диффузионное растворение в расплаве других, более тугоплавких фаз; 3) кристаллизация из расплава новых, более термодинамически устойчивых фаз.

Такое подразделение позволяет описать кинетику спекания фарфора тремя уравнениями.

Скорость расплавления зерна полевого шпата, имеющего размеры применительно к тонкокерамическим производствам 30—60 мкм, при температуре 1200° С составляет около 30 мин. Уравнение кинетики расплавления полевых шпатов пока не предложено.

Для скорости растворения CaO в расплаве клиньев портланд-цементного производства Тороповым и Румянцевым [25] предложено уравнение

$$z' = \frac{d}{A} e^{Q/RT},$$

где d — диаметр растворяющихся в расплаве частиц, мм;
A — константа, мало зависящая от температуры;
Q — энергия активации растворения частиц в расплаве.

Для случая растворения CaO в расплаве клинкера $Q = 146$ ккал/моль и скорость растворения зерна CaO при температуре 1375° С равна 29,3 мин, а при 1500° С всего 1,2 мин.

Скорость диффузии в расплаве полевого шпата ионов алюминия из метакаолина, необходимых для построения решетки вторичного муллита, может быть описана уравнением [26]

$$z'' = \frac{4/3\pi r^3 lBkT}{\gamma \Omega D}.$$

Если, например, примем радиус r зерна полевого шпата равным $3{,}5 \cdot 10^{-3}$ см, k — постоянная функция вероятности Больцмана, равная $1{,}4 \cdot 10^{-16}$ эрг/град, T равной $1{,}5 \cdot 10^3$ К, γ — поверхностное натяжение примем по данным опыта равным $2{,}5 \cdot 10^2$ дин/см, вектор Бюргерса В примем по аналогии с другими кристаллическими решетками равным $8 \cdot 10^{-8}$ см, размеры блока l в полевом шпате около 10^{-4} см, Ω — атомный объем, равный 10^{-23} см, D — коэффициент диффузии по Кингери, для случая самодиффузии иона алюминия на окиси алюминия около 10^{-13} см$^2 \cdot$с, то скорость диффузии иона алюминия в полевошпатовом расплаве будет около 20 мин.

Третий этап — кристаллизация муллита из расплава — может быть описан уравнением первого порядка формальной кинетики [27]

$$\frac{2{,}3}{z} \lg \frac{a}{a - x} = k.$$

Приняв концентрацию глинозема в фарфоровой массе равной 25% и константу реакции, по нашим и Ушаковой данным применительно к часов-ярской глине, равной 0,121, имеем

$$z''' = \frac{2{,}3}{0{,}121} \lg \frac{25}{25 - 25x},$$

где x — степень перехода глинозема в состав муллита.

Тогда для 10% глинозема массы, входящего в состав 15% муллита в фарфоре, a при $x = 0{,}1$, $z''' = 0{,}8$ ч.

Пользуясь опытными данными, можно приближенно оценить общую длительность спекания фарфора, исходя из кинетики протекающих в фарфоровой массе отмеченных выше процессов.

Расплавление полевого шпата продолжается 0,5 ч, диффузия ионов алюминия — 0,3 ч, кристаллизация вторичного муллита — 0,8 ч.

Следует отметить, что работами недавних лет УНИИСП совместно с институтом Газа АН УССР, работами ГИКИ, а также исследователями за рубежом установлена возможность скоростного обжига тонкостенного фарфора за несколько часов. Вопрос о качестве фарфора скоростного обжига вызывает пока разногласия.

5. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ФАРФОРОВОЙ МАССЫ ПРИ СПЕКАНИИ

Опыт показал, что прочность фарфоровой массы по мере спекания возрастает до некоторого предела, определяемого оптимальной температурой обжига, после чего прочность снижается вследствие наступающего пережога, характеризуемого появлением неравномерной и крупной пористости черепка и изменением его фазового состава в сторону повышения содержания стекловидной фазы и уменьшения содержания муллита.

На рис. IX.5 приведены кривые, свидетельствующие об антибатном характере роста прочности при изгибе и снижении пористости для фарфоровых масс на кондиционном сырье *1* и *2*, на рядовом сырье *3* и *4* и на гусевском камне *5* и *6*. Следует обратить внимание на то, что повышение пористости и снижение прочности у масс на гусевском камне наступает уже при температуре 1330° С. Объясняется это влиянием минерального состава гусевского камня. Влияние пористости (в пределах 5—30% объемных) на снижение прочности керамики характеризуется уменьшением прочности на 3,5—4% при увеличении пористости на 1%.

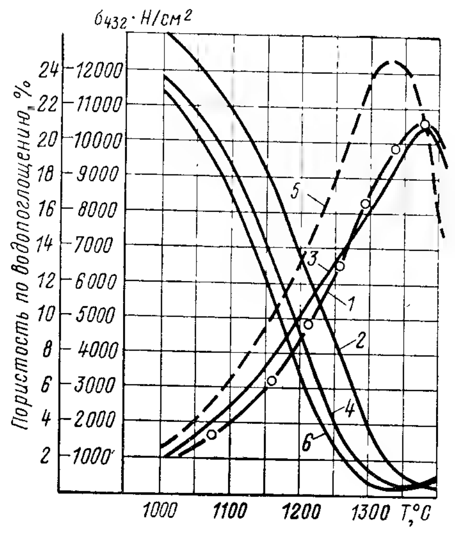


Рис. IX.5. Графики изменения прочности и пористости фарфоровых масс при обжиге

Белизна фарфорового изделия характеризуется интенсивностью рассеяния отраженного света по сравнению с белизной поверхности свежеосажденного сульфата бария, определяемой с помощью фотометра. Более точного определения белизны фарфора пока не существует отчасти в связи с недостаточной разработкой теории белизны.

Степень белизны обычного фарфора изменяется с повышением температуры обжига своеобразно: примерно при температуре 1250° С и выше белизна снижается вследствие спекания массы и уменьшения пористости, достигает некоторого минимума при 68—72% и затем повышается благодаря развитию муллитовой фазы при условии ее мелкой кристалличности до 70—75% при температуре 1400—1420° С,

после чего начинает снова несколько снижаться вследствие пережога, с чем связано увеличение количества стеклофазы и уменьшение частично растворяющейся муллитовой фазы.

Белизна фаянса несколько выше белизны фарфора.

Просвечиваемость фарфора как отношение количества проходящего света к количеству падающего (МРТУ 17-571—67) растет нелинейно при повышении температуры обжига вследствие увеличения количества стекловидной фазы и уменьшения количества растворяющегося кварца. Просвечиваемость повышается с увеличением зерен муллита. Тонкий помол кварца также благоприятствует увеличению просвечиваемости.

6. РЕАКЦИИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

При охлаждении обожженных изделий большое значение имеет точка перехода стеклофазы фарфора из расплавленного пластичного в твердое упругое состояние и точка отверждения глазури. Эта точка соответствует $T_д$ в обычном стекле.

Чем больше содержание кремнезема и глинозема в стеклофазе фарфора, тем точка перехода ближе к температуре 800° С. В мягких фарфорах эта точка снижается к 600° С.

Температуре перехода стеклофазы в твердое состояние соответствует точка отверждения глазури на фарфоре. У глазурей твердых фарфоров эта точка лежит в интервале температур 700—670° С, у глазурей мягких фарфоров — при 570—530° С, у глазурей по фаянсу — при 480—340° С. Поэтому Зингер рекомендует замедлять скорость охлаждения в этих интервалах [28] во избежание появления значительных термических напряжений между черепом и глазурью.

Знание точки перехода важно в технологическом отношении потому, что от температуры конечной выдержки до этой точки интенсивность охлаждения может быть весьма значительной, так как возникающие термические напряжения погашаются пластической деформацией стеклофазы.

По Г. А. Ковельману [29], первый этап охлаждения до температуры 1000° С следует проводить максимально быстро, поддерживая безокислительную газовую среду в печи.

После отверждения стеклофазы фарфора возникают напряжения как следствие разных значений коэффициентов α термического расширения и модулей упругости E кристаллических фаз и стекла. Величина этих напряжений относительно невелика, составляя по расчету теории сопротивления материалов 2,9—3,9 МПа (29—39 кгс/см²).

Напряжения могут быть значительно большими при реакциях изоморфных превращений $\alpha \rightarrow \beta$-кварц при температуре 573° С, $\alpha \rightarrow \beta$-кристобалит в интервале температур 230—175° С, сопровождаемых изменением объема: первого около 2%, второго — около 5%.

Так как количество реликтов кварца в обычном фарфоре в 8—10 раз больше кристобалита, то изменения модуля упругости E и к. т. р. фарфора прослеживаются вполне отчетливо при температурах инверсии кварца и обычно не наблюдаются при дилатометрических измерениях для реакции $\alpha \rightarrow \beta$-кристобалит.

В кристобалитовом фарфоре (с 44% кристобалита) кристобалитовая инверсия на дилатометрической кривой хорошо видна.

Можно оценить величину возникающих напряжений при температурах 550—600° С, применив уравнение из общей теории сопротивления материалов.

Практически инверсия $\alpha \rightarrow \beta$-кварца в фарфоре при его охлаждении не сопровождается двухпроцентным изменением объема кварцевых зерен ввиду сильного растрескивания зерен и наличия вокруг них каемок реакционного взаимодействия, играющих, по-видимому, роль буфера, смягчающего действие напряжений.

Напряжения, возникающие в фарфоре в связи с этими реакциями, требуют некоторого замедления скорости охлаждения, что находит отражение в режимной кривой охлаждения (см. гл. X).

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Будников П. П.** Избранные труды. Киев, Изд-во АН УССР, 1960, с. 28—35.
2. **Range K. I.** Ber. d. D. Ker. Ges. 1971, v. 48, HI, S. 11—15.
3. **Grofcsik I.** Mullite, its structure, formation and significance. Akadem—Kiado. Budapest, 1961. 163 p.
4. **Brindey G., Nacahira M. J.** Am. Cer. Soc. 1959, v. 42, p. 311—342.
5. **Белянкин Д. С., Иванов Б. В., Лапин В. В.** Петрография технического камня. М., изд-во АН СССР, 1952. с. 583.
6. **Будников П. П., Геворкян Х. О.** Обжиг фарфора. М., Стройиздат, 1972. 112 с.
7. **Бережной А. С., Кордюк Р. А.** О характере реакций, являющихся основой форстеритовых огнеупоров. ДАН УССР, Киев, 1960, № 12, с. 1614—1617.
8. **Mac-Kenrie K. J.** Tr. Br. Cer. Soc., 1969, v. 68, N 3, p. 108—111.
9. **Ao T. J.** Soc. Chem. Ind. Japan, 1933, N 36, p. 546—549.
10. **Ковельман Г. А., Баренбойм А. М.** Обжиг фарфора с вводом распыленной воды в факел природного газа. «Стекло и керамика», 1974, № 3, с. 32—33.
11. **Назаренко М. Ф., Августиник А. И., Свириденко В. А.** О связи между зарядом и радиусом катионов и их минерализующем влиянии на процесс муллитизации. «Журнал прикладной химии». М., изд-во АН СССР, 1954, 27, № 7, с. 782—784.
12. **Туманов С. Г., Смирнова В. А.** О роли газовой среды при обжиге фарфора. «Неорганические материалы». М., Изд-во. АН СССР, 1967, т. 3, № 7, с. 1253—1258.
13. **Клейнер М. Б.** Фарфор и фаянс. Информация ГИКИ. М., 1970, № 2 (37), с. 11—12.
14. **Tammann G.** Zeit. An. Allg. Chemie, 1926, v. 158, N 1—2. p. 17.
15. **Cable M., Rasul C.** I. Am. Cer. Soc. 1967, v. 50, N 10, p. 528—532.
16. **Никулина Л. Н, Ковельман Г. А.** О микроструктуре и режиме обжига высококачественного хозяйственного фарфора. М., Труды ГИКИ, 1970, № 1 (50), с. 46—51.
17. **Schüller K. H.** Ber. d. D. Ker. Ges. 1967, v. 44, H9, S. 578—582.
18. **Marzahl H.** Ber. d. D. Ker. Ges. 1955, v. 32, H4, S. 203—205.
19. **Генин Л.** Влияние кварца на прочность фарфора. «Стекло и керамика», 1958, № 4, с. 35—38.
20. **Strand F.** Ber. d. D. Ker. Ges. 1969, v. 46, N 4, s. 299—304.
21. **Бутылева Е. С., Булавин И. А.** Спекающиеся массы для санитарно-строительных изделий. «Стекло и керамика», 1966, № 4, с. 26—28.
22. **Krause O., Klempin U.** Sprechs. 1942, N 75, s. 229—232.
23. **Будников П. П., Гинстлинг А. М.** Реакции в смесях твердых веществ. М., Гостройиздат, 1961. 420 с.
24. **Августиник А. И.** Спекание в присутствии жидкой фазы. Техническая информация МПСМ ЦНИИТЭСТром. М., 1969, с. 3—14.

25. **Торопов Н. А., Румянцев П. Ф., Филипович В. Н.** О кинетике растворения CaO, 3CaO, O_2 и O_2 в жидкой фазе цементного клинкера. «Физическая химия». М., изд-во АН СССР, 1964, т. 38, № 4, с. 974—977.
26. **Августиник А. И.** Тезисы научн.-технич. конференции ЛТИ им. Ленсовета. Л., 1970, с. 1—2.
27. **Августиник А. И.** Физическая химия силикатов. М., Химиздат, 1947. 322 с.
28. **Singer F., Singer S.** Ceramics. Ed. Chapman and Hall. Lond., 1963. 840 с.
29. **Ковельман Г. А.** Изменение белизны фарфора в процессе его созревания. «Техническая информация МПСМ. М., изд. ЦНИИТЭСТром, 1969, с. 17—24.

ГЛАВА X

РЕЖИМЫ ОБЖИГА ФАЯНСОВЫХ И ФАРФОРОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Режимы обжига должны обеспечить получение керамических изделий с необходимыми характеристиками при нагревании и охлаждении в короткие сроки и с небольшими затратами.

Скорость нагревания сырца зависит от толщины полуфабриката, минерального состава массы (в частности, от присутствия монтмориллонита), ее дисперсности и др. Особенно сильное влияние оказывает степень однородности температурного поля в зоне садки [1—4].

Средствами для уменьшения перепада температур по высоте зоны подогрева туннельных печей, достигающего 150—200° С/м, являются герметизация входного затвора, поддержание в переднем участке печи возможно меньшего разрежения, применение перемешивающих вентиляторов, увеличение сечения зазоров в нижней части садки по отношению к ее верхней части и использование футеровки вагонеток с пониженной аккумулирующей способностью и теплопроводностью.

В ГИКИ разработан комплекс мероприятий по оснащению конечного участка зоны подогрева дополнительными топками и дымоотсосными каналами между ними, а также аэродинамическими завесами.

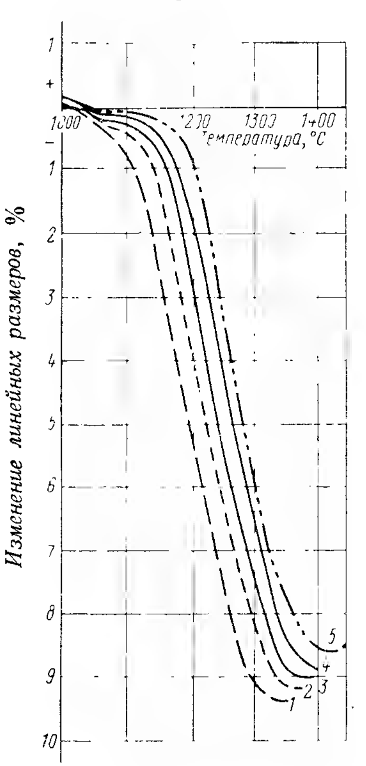
1. РЕЖИМЫ ОБЖИГА ФАЯНСА И МАЙОЛИКИ

При интенсификации нагревания пористых материалов температура их максимальной усадки повышается, а величина усадки почти не изменяется (рис. X.1). Одновременно пористость массы несколько уменьшается. Так, согласно опытам, в результате интенсификации нагревания низкоспекающейся фарфоровой массы с 1 до 5° С/мин предел ее прочности при изгибе снижается на 9%, а при интенсификации с 1 до 10° С/мин – на 13% и т. д.

Необходимая продолжительность выдержки в конце периода нагревания зависит от диффузионных процессов, протекающих между составными частями массы, размеров и формы изделий, степени равномерности прогрева садки. В процессе выдержки уменьшаются напряжения, вызванные разностью температур в отдельных частях

изделий. Их механическая прочность в большинстве случаев повышается. Эффективность выдержки тем больше, чем выше температура (рис. X.2).

Недостаточная степень бисквитного обжига фаянса и майолики проявляется в повышенной открытой пористости изделий. У таких изделий наблюдается плохой разлив глазури при политом обжиге, ее частичное расстекловывание и сухость краев.



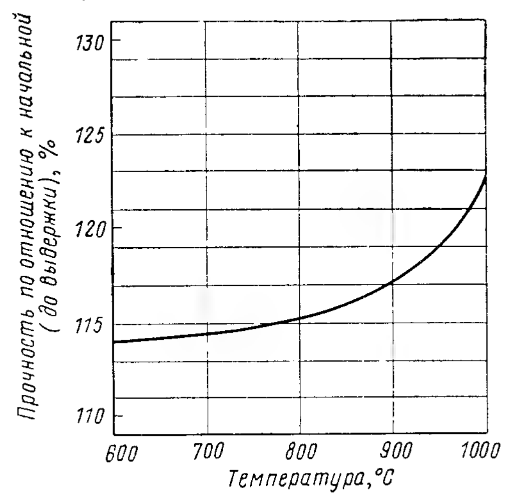


Рис. X.2. Относительная эффективность двухчасовой выдержки при различных температурах первого обжига образцов фарфоровых масс

←

Рис. X.1. Графики зависимости температуры обжига от скорости нагревания низкоспекающейся фарфоровой массы:

1 — скорость нагревания 1° С/мин; *2* — *3*—5° С/мин; *4* — 10° С/мин; *5* — 15° С/мин

Основной вид брака — трещины в глазурном слое (цек), возникающие при недожоге фаянса в первом обжиге, усиливается при недостаточно тонком помоле кварцевой составляющей массы.

Чрезмерно высокие температуры первого обжига или излишне продолжительная выдержка в конце периода нагревания вызывают резкое снижение пористости изделий; при этом возникают плешины и сухость края глазури в процессе второго обжига.

Первый и второй обжиги фаянса, первый обжиг фарфора проводят в окислительной газовой среде, наиболее экономичной по расходу топлива и способствующей получению изделий с блестящей гладкой поверхностью и бездефектной глазурью. Закопченность изделий и поглощение ими углерода обусловливают скатывание глазури в процессе политого обжига.

Окись углерода, соприкасаясь с поверхностью обжигаемых керамических изделий, являющихся катализаторами, разлагается на

углекислый газ и углерод, причем углерод осаждается в порах изделий.

Особенно высокие требования предъявляют к отсутствию в печной среде продуктов неполного сгорания топлива при обжиге изделий с подглазурной росписью, так как содержание окислов тяжелых металлов (Cr_2O_3, Fe_2O_3, MnO и др.) в керамических красках приводит к частичному их восстановлению.

Исследования П. П. Будникова, Ю. Г. Штейнберг и других специалистов позволили установить, что воздействие печной среды на вспучивание глазури и образование в ней наколов возрастают в следующем порядке: водяной пар, двуокись углерода, окись углерода, водород, сернистый газ.

Работы Л. Вендлера [5] и других исследователей показали, что на глазури под углублениями в большинстве случаев расположены пузырьки, которые, охлаждаясь, втягивают находящиеся над ними участки глазури, создавая впадины. Эти исследования позволили внести коррективы в представление некоторых авторов, предполагавших, что углубления в глазури вызываются в основном раскрытием лопнувших пузырьков.

При охлаждении изделий отбор от них тепла осуществляется тем интенсивнее, чем выше температура, так как значительный температурный перепад между потоком воздуха и охлаждаемой садкой при высоких температурах обусловливает большую скорость падения температуры.

Как показали работы Г. А. Ковельмана и А. М. Баренбойма, при температуре поступающего и отбираемого воздуха, равной соответственно $t_1 = 25°$ С и $t_2 = 800°$ С и средней температуре в печи $t_{ср} = 1000°$ С перепад температур между воздухом и теплоотдающей поверхностью составляет около 480° С.

При температуре в печи, равной 70° С, величины t_1 и t_2 соответственно равны 25 и 50° С; в этом случае $\Delta t_2 \approx 32°$ С.

Таким образом, при неизменном коэффициенте теплопередачи конвекцией количество тепла, поглощаемого потоком охлаждающего воздуха, уменьшается во много раз и резко замедляется охлаждение изделий [6].

Режимы первого обжига фаянса существенно отличаются от режимов второго обжига интенсивностью начального периода остывания.

Появление поверхностных трещин в фаянсе вызывает в два раза бо́льшую склонность к разрушению, чем при возникновении внутренних трещин той же длины. Растрескивание происходит обычно в две стадии: сначала образуются зародыши трещин (трещины Гриффитса), которые затем увеличиваются. С возрастанием перепада температур (при термоударах) сетка трещин становится плотнее, а трещины более ориентированными.

В связи с этим глубина трещин увеличивается, прочность и термостойкость материала снижаются.

Во избежание появления опасных напряжений эту стадию охлаждения фаянса и майолики в первом обжиге, как показывает кривая *1* на рис. X.3, проводят значительно медленнее, чем у глазурованных изделий.

При втором обжиге фаянса для устранения кристаллизации глазури требуется проведение достаточно интенсивного охлаждения до температуры, ниже которой кристаллы уже не появляются (см. кривую *2* на рис. X.3).

В следующий период остывания, когда происходит инверсия кварца, предотвращают возникновение в материале опасных структурных (остаточных) напряжений, уменьшая скорость охлаждения изделий.

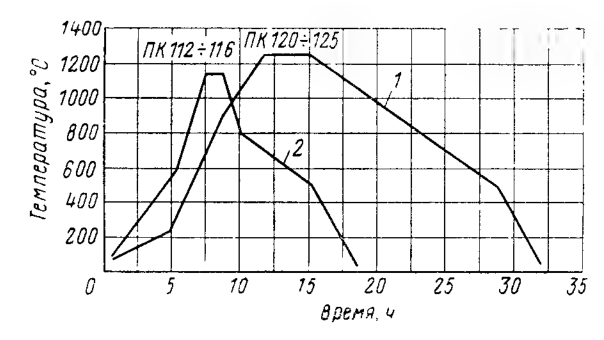


Рис. X.3. Режимы первого (*1*) и второго (*2*) обжигов фаянсовой посуды в туннельных печах

Время охлаждения пористой керамики в туннельных печах составляет 52—55% цикла. Продолжительность первого обжига в печах с поперечным сечением от 1,45 × 1,35 м до 1,70 × 1,60 м составляет соответственно от 28 до 33 ч. Максимальная температура — 1230—1280° С.

При использовании массы, состоящей из кондиционных сырьевых материалов, огневая усадка составляет 3%, а у раноспекающейся массы — до 4%.

Бисквитный фаянс и полуфарфор охлаждают от температуры 1200 до 450° С достаточно осторожно, избегая появления в изделиях опасных напряжений.

Политой обжиг посуды в печах шириной 1,3 м и высотой от развитого пода до свода 1,4 м при максимальной температуре 1120—1160° С продолжается 14—17 ч. Тарелки и блюдца загружают по несколько штук, ставя их на ребро в коробчатый кордиеритовый капсель или на огнеупорные этажерки.

Наиболее ответственно нагревание до температуры 600° С. При пережоге глазурованных изделий в глазурном слое образуются газовые пузырьки, поднимающиеся к его поверхности, вскипание и наколы. Вздутия, даже не превышающие 0,1 мм и не видимые невооруженным глазом, поглощают свет и способствуют глушению глазури. Происходит также отделение от пористой керамики глазурного покрова из-за образования в нем довольно значительных сжимающих напряжений и впитывание глазури в поры изделия.

В процессе обжига изделий с пористой основой, покрытых люстровыми, медными и другими легкоплавкими цветными глазурями, могут возникать вздутия диаметром в несколько миллиметров.

При нагревании таких изделий (в среде, содержащей сернистые соединения) образуется сульфат кальция по реакции $CaO + SO_2 + 0,5O_2 = CaSO_4$. В последней стадии нагревания (при температуре выше 1100° С) кристаллы ангидрита разлагаются с выделением газов, что вызывает вздутие глазури.

При слишком короткой зоне обжига туннельных печей и большой напряженности топочного объема подглазурные краски могут восстанавливаться. Этот дефект возникал при средней напряженности топочного объема $8,8 \cdot 10^9$ Дж/(м³/ч) ($2,1^6$ ккал/м³/ч). В другой туннельной печи того же завода при средней напряженности топочного объема $4,6 \cdot 10^9$ Дж/(м³ /ч) ($1,1^6$ ккал/м³/ч) подглазурные краски не восстанавливались. Нагревание в конце зоны обжига туннельных печей можно замедлить, создав на этом участке газовую среду с большим содержанием кислорода.

Капсельный объем тысячи глазурованных фаянсовых изделий, установленных на этажерках, равен примерно 1,3 м³.

При политом обжиге фаянсовые изделия по окончании нагревания подвергают интенсивному охлаждению до температуры 900° С.

Наиболее распространенные виды дефектов изделий тонкой строительной керамики, обожженных по ускоренным режимам, — трещины, разнотонность глазури (особенно при безмуфельном обжиге изделий) и деформация.

Бисквитный обжиг фаянсовых изделий, покрываемых впоследствии цветными глазурями (так называемой фаянсовой майолики), проводят, как и обжиг обычных фаянсовых изделий, при максимальной температуре 1230—1280° С.

Продолжительность политого обжига фаянсовой майолики при температуре 1020—1060° С в рольганговой щелевой электропечи — 5—7 ч. Основной дефект продукции — задувка, т. е. засорение глазури чешуйками окалины, отслаивающимися от металлических поддонов.

Режимы обжига глиняной декоративно-бытовой и строительной майолики в основном близки к режимам обжига фаянса. Различие состоит главным образом в пониженной температуре и меньшей продолжительности цикла обжига.

В начале нагревания и выше температуры 800° С при обжиге тонкодисперсных масс, содержащих более 25—30% фракций глинистых частиц размером менее 1 мкм, скорость нагревания уменьшают.

После первого обжига, проводимого при температуре 1000—1100° С, пористость майолики по водопоглощению составляет 15—17%, огневая усадка — 1%. Продолжительность первого обжига цветных облицовочных плиток с повышенным содержанием плавней в щелевой рольганговой печи при одноярусной загрузке изделий без поддонов — 50 мин.

В результате второго обжига майолики (цветных плиток), осуществляемого при температуре 920—1040° С в сильноокислительной

среде, пористость по водопоглощению снижается до 13—15%, дополнительная усадка составляет 0,1—0,2%. Продолжительность второго обжига — 25 мин.

Обжиг майолики из глиняной массы в электрических или муфельных туннельных печах проводят с соблюдением ниже указанных параметров (для изделий средних размеров).

	Первый обжиг	Второй обжиг
Максимальная температура, °С . . .	1020	1020
Продолжительность цикла нагревания и охлаждения, ч	8–12	4–7
Продолжительность выдержки при максимальной температуре, ч . . .	1,0–1,5	0,3–0,5

К первому обжигу изделий предъявляют требования, обеспечивающие их термическую стойкость в процессе остывания (что особенно важно при ускоренных режимах), прочность, необходимую для предотвращения повреждений при механизированном транспортировании и обработке, и неразмокаемость при глазуровании изделий окунанием. Этому способствует достаточная степень спекания, определяемая в основном величиной максимальной температуры обжига.

При первом обжиге необходимо удалить из массы возможно большее количество химически связанной воды, продуктов диссоциации и углеродсодержащих веществ.

При чрезмерно резком охлаждении фаянса, содержащего свободные кристаллы кварца и имеющего малую толщину промежуточного подглазурного слоя, усиливается отрицательное влияние большого различия в коэффициентах термического расширения черепка и глазури на целостность глазури.

Значительный перепад температур в садке вагонеток туннельных печей, большая масса и теплоемкость футеровки вагонеток, капселей и этажерок затрудняют интенсификацию обжига.

Сокращению продолжительности первого обжига фарфора, облицовочных плиток и других тонкокерамических изделий в щелевых печах по сравнению с продолжительностью обжига в туннельных печах в значительной мере способствует применение несущих металлических конструкций вместо футеровки вагонеток, обладающей бóльшей теплоемкостью.

При эксплуатации щелевых печей, находящихся в поточных линиях, достигается сокращение цикла обработки, снижение расхода рабочей силы и огнеупоров.

2. РЕЖИМЫ ОБЖИГА ФАРФОРОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Важнейшей особенностью режима обжига фарфоровых, хозяйственных и других изделий [1—4; 7—13] со спекшейся структурой является необходимость удаления летучих из массы до закрытия капилляров. Для этого процесс обжига четко разделяют на периоды с различными параметрами состава газов, температуры и скорости нагревания.

Температура первого обжига фарфора в зависимости от его продолжительности и состава массы находится в пределах от 800 в производстве изделий, изготовленных из масс с трошковской глиной, до 1000° С. Цвет обжигаемого полуфабриката в конечный период нагревания изменяется от темно-розового до белого со слабым розовым оттенком.

На некоторых заводах первый обжиг фарфора в конвейерных печах осуществляют при температуре не выше 800° С, что зависит от использования жаропрочной проволоки при изготовлении сетчатого конвейера.

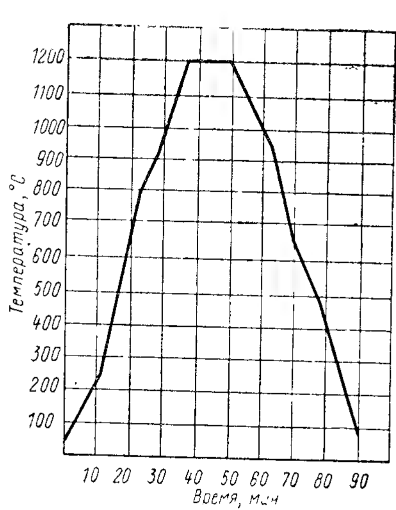


Рис. X.4 Скоростной режим обжига низкоспекающегося фарфора

На рис. X.4 показан скоростной режим обжига низкоспекающегося фарфора в малогабаритной щелевой печи, где его растрескивание предотвращают низкой влажностью сырца (не более 0,5%) и относительно меньшей интенсивностью остывания до температуры 500° С по сравнению с другими периодами тепловой обработки.

На рис. X.5 графически показан режим первого обжига фарфоровой посуды в туннельной печи.

Для проведения первого обжига фарфоровой посуды на ряде заводов применяют муфельные роликовые печи конструкции Дулевского завода для обжига тарелок, установленных в стопках, и других изделий. Продолжительность обжига в них при температуре выше 900° С составляет 7—9 ч.

Применительно к поточно-механизированным и автоматизированным линиям в ГИКИ разработаны безмуфельные печи со специальным транспортером из жароупорной стали. Температура обжига в них — 920—980° С, продолжительность обжига чашек и блюдец — 15—30 мин.

При проведении однократного обжига изделий по возможности необходимо выполнять требования, предъявляемые к режимам первого и второго (политого) обжигов.

При производстве санитарного фарфора, различных изоляторов и частично хозяйственного фарфора применяют однократный обжиг. При этом величина начальных затрат на строительство предприятия и себестоимость продукции меньше, чем при двукратном обжиге.

Скульптурные изделия мягкого фарфора подвергают однократному обжигу при максимальной температуре 1280° С и средней продолжительности цикла в туннельной электропечи 8—9 ч.

В тонкокерамических изделиях, имеющих развитую горизонтальную плоскость, качество поверхности глазури после однократного обжига более низкое, чем при двукратном обжиге.

В этом отношении показательны результаты сравнительных опытов по обжигу в роликовых печах облицовочных плиток размерами 150 × 150 × 5 мм из легкоплавких глин [14]. Однократный обжиг таких плиток продолжительностью 50 мин не дал положительных результатов (слабый блеск глазури). Лучшие результаты были получены после внедрения двукратного обжига.

При недостаточно полной дегидратации и дегазации (в частности, при обезуглероживании) массы и при низкой вязкости стеклофазы в конце нагревания на изделиях появляются различные дефекты (мелкие вздутия — прыщи, локальная или общая темная окраска — пятнистость, пегость, задымка).

У фарфоровой массы, содержащей бентонит или трошковскую глину (в виде ее «рыхлой» разновидности), появление огневых дефектов при температуре выше 1380° С обусловлено более ранним началом ее спекания, чем при использовании веселовской глины.

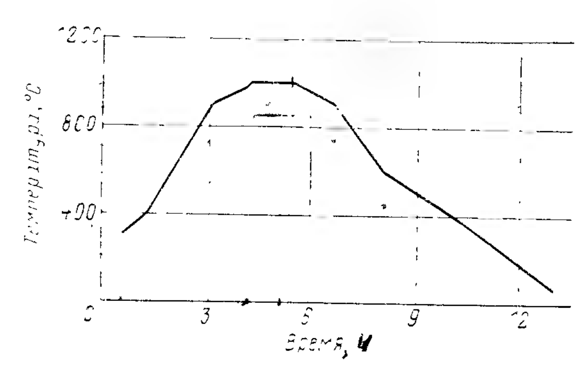


Рис. X.5. Режим первого обжига фарфоровой посуды

Окислительную среду при обжиге фарфора поддерживают до температуры не ниже 900° С. Чем ниже температура спекания массы, выше содержание в ней органических веществ и больше перепад температур в садке, тем продолжительнее должен быть период первой (промежуточной) выдержки. Поздняя спекаемость массы является существенным фактором, предотвращающим появление огневых дефектов и способствующим получению плотного бесцветного фарфора благодаря полному выгоранию из массы органических веществ и выделению остатков конституционной воды и других летучих.

Во избежание увеличения объема выделяющихся из массы газов и возникновения на глазури пузырей и наколов переход окиси железа в закисную форму и разложение сульфатов осуществляется в восстановительной печной среде.

При повышении температуры фарфоровой массы обычного состава с 600 до 950° С предел прочности при изгибе увеличивается в 2,5 раза. Одновременно повышаются сопротивление резким изменениям температуры и неразмокаемость при глазуровании, а также уменьшается образование прыщей и пятнистости при втором обжиге.

Вид глазури спекшихся изделий частично зависит от степени дегидратации и дегазации (в частности, обезуглероживания) изделий при первом обжиге полуфабриката. Чем меньшее количество паров и газов проходит через слой глазури, тем в меньшей степени образуются наколы и пузыри в политом обжиге.

На Лобненском заводе строительной керамики впервые в нашей стране освоено производство санитарно-строительных изделий, изготовленных из низкоспекающейся фарфоровой массы. Их однократный обжиг осуществляют в туннельных печах, продолжительность цикла — 26 ч, температура обжига — 1250° С.

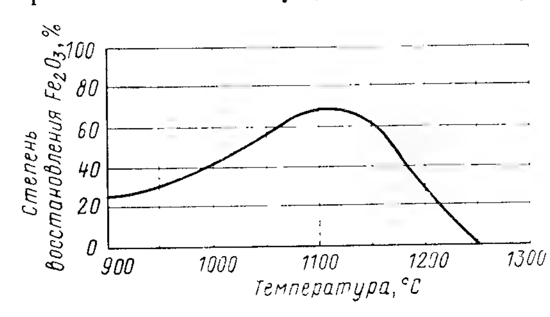


Рис. X.6. График изменения степени восстановления окиси железа при нагревании фарфоровой массы с содержанием в ней 0,8% окиси железа и средним содержанием CO (4%) в печной среде

Применительно к сырью восточных районов СССР Г. А. Ковельман и А. Б. Шувалихина разработали режим однократного обжига толстостенных тарелок из низкоспекающейся фарфоровой массы, предложенной А. В. Коробкиной и А. Г. Пыжовой. Изделия следует обрабатывать в щелевых роликовых печах скоростного обжига. Пористость по водопоглощению продукции — до 0,5%. Чем выше температура первого обжига полуфабриката, тем раньше можно начать восстановительный период обжига.

На рис. X.6, иллюстрирующем изменение степени восстановления Fe_2O_3 в массе твердого хозяйственного фарфора при нагревании со скоростью 3° С мин, видно, что восстановительный период должен продолжаться до температуры примерно 1250° С, особенно при обжиге фарфоровой посуды в печах большого поперечного сечения, а также при ускоренных режимах.

Чем выше содержание окрашивающих окислов и сульфатов в массе, тем большее количество газов удаляется из нее в восстановительном периоде и тем больше склонность к возникновению наколов (оспин) на глазури.

Интенсивное проникание газов из спекающейся массы в глазурь и насыщение ими расплава, как показали исследования ГИКИ, происходят в том случае, если плавление глазури начинается раньше, чем произойдет примерно на 90% усадка массы.

При недостаточном содержании CO и H_2 в печной среде в восстановительном периоде или при его запаздывании (т. е. после начала значительного уплотнения массы) возникает локальная или общая желтоватая окраска изделий.

Чрезмерно сильная восстановительная среда вызывает науглероживание массы, претерпевающей спекание. При этом заглушается просвечиваемость, ухудшаются электрофизические характеристики

продукции и она приобретает серый оттенок. Снижение белизны усиливается при заплавлении сажистого углерода или полном восстановлении окрашивающих окислов (например, по реакции $MeO + H_2 = Me + H_2O$).

При неполном сгорании твердого топлива содержание окиси углерода в газовой смеси находится в линейной зависимости от уменьшения коэффициента расхода воздуха. В отличие от этого неполное сгорание природного газа приводит к образованию преимущественно водорода, являющегося более сильным восстановителем, чем окись углерода, причем содержание водорода в печной среде больше, чем окиси углерода. Например, при расходе воздуха $\alpha = 0,8$ содержание CO = 3,5%, а H_2 = 4,2%, а при $\alpha = 0,7$ соответствующие показатели равны 6 и 7,52% и т. д.

Реакции неполного горения метана при различных соотношениях количества газа и воздуха:

$$\text{Схема I} — CH_4 + O_2 + 3{,}76N_2$$

$$CO + H_2 + H_2O + 3{,}76N_2$$

$$\text{Схема II} — CH_4 + 0{,}5O_2 + 0{,}5 \cdot 3{,}76N_2$$

$$CO + 2H_2 + 1{,}88N_2$$

Состав сухих продуктов сгорания в первом случае — 17,4% CO + + 17,4% H_2 + 65,2% N_2; во втором — 20,5% CO + 41% H_2 + + 38,5% N_2.

Соотношение H_2 и CO в первом случае 1 : 1; во втором 2 : 1.

Количество адсорбированного водорода, как всякого двухатомного газа, переходящего в растворе в одноатомный газ, пропорционально квадратному корню из величины парциального давления газа в печной среде.

В связи с низкой относительной молекулярной массой водорода и его высоким коэффициентом диффузии атомы водорода легко диффундируют в силикатные расплавы, в которых хорошо растворяются [4]. Это предопределяет быстрое восстановление окислов и эффективное понижение температуры фазовых превращений. Ионы водорода и гидроксила, по данным специалистов, сильно снижают вязкость стекловидной фазы.

При переводе печей периодического действия на обогрев природным газом вместо твердого и жидкого топлива вначале резко возросло количество дефектов продукции в виде цветовых оттенков, пережога периферийных частей и недожога внутренней зоны садки.

Чтобы предотвратить образование этих дефектов на фарфоре при его обжиге с использованием природного газа, вводят распыленную воду, которая, превращаясь в пар, отбирает часть тепла и снижает температуру горения газа. При этом объем продуктов сгорания увеличивается. Водяной пар, являясь окислителем и участвуя в процессе частичного сжигания продуктов неполного горения, предотвращает появление на фарфоре темной окраски и пятен. Отсутствие свободного кислорода в печной среде препятствует возникновению на изделиях желтизны и пузырей. Происходит активное химическое

взаимодействие между парами воды и жидкой фазой фарфора. В результате снижения вязкости полевошпатового расплава улучшается равномерность уплотнения фарфора при пониженных температурах обжига. Увеличивается муллитообразование. Усадка обжигаемых масс в увлажненной печной среде сдвигается в сторону более низких температур.

Указанный метод внедрен при проведении восстановительного и нейтрального периодов в крупных периодически действующих печах и апробирован в туннельных печах. Применение этого метода обжига позволяет повысить белизну фарфора, снизить температуру топок и наружной поверхности кладки, удлинить межремонтные сроки печей и огнеупорного припаса вагонеток.

Слишком сильное восстановление окисных соединений и загрязнение изделий наблюдается при недостаточном сгорании высоковязких мазутов, сопровождающемся оседанием на садке трудносжигаемых крупных и хлопьевидных частиц сажистого углерода. Качество обжига также снижается из-за большого и нестабильного содержания в таких мазутах воды и серы.

Наряду с обычными приемами подготовки жидкого топлива (обезвоживание, фильтрация, подогрев и др.), в печах периодического действия для обжига фарфоровой посуды применяют эмульгирование.

Продолжительность восстановительного периода процесса политого обжига фарфоровых изделий, а также концентрация CO и H_2 в печной среде существенно зависят от особенностей фарфоровой массы. Например, относительно большое содержание хромогенов в веселовской глине и свойственное ей более раннее окончание процесса спекания обусловливают необходимость менее интенсивного нагревания изделий, а также более высокого содержания CO и H_2 в восстановительной среде, чем при обжиге изделий из масс с вводом плотной трошковской глины. При обжиге фарфора из масс, содержащих гусевский камень с небольшим количеством окрашивающих соединений (содержание $Fe_2O_3 + TiO_2$ в среднем до 0,4%), спекание проводят в слабовосстановительной газовой среде ($CO + H_2 = 3—4\%$).

При использовании кондиционных сырьевых материалов в восстановительный период обжига, осуществляемого в лабораторных печах на природном газе, достаточно присутствия 4—5% $CO + H_2O$, а в производственных печах в зависимости от их размеров и режима эксплуатации — 7—10% $CO + H_2$. В большинстве случаев соотношение $CO : CO_2 = 0,3 : 1$.

В начале восстановительного периода поддерживают приблизительно такую же температуру, как в конце промежуточной выдержки, когда масса еще обладает высокой пористостью, что особенно полезно при обжиге толстостенных изделий.

Соблюдение режима восстановительного периода обжига фарфоровых изделий способствует получению необходимой белизны с голубоватым оттенком и требуемой плотности, определяющей высокие физико-механические и диэлектрические свойства фарфора, а применительно к фарфоровой посуде и необходимую просвечиваемость.

Оптимальная температура обжига фарфоровых масс составляет 80—85% показателя огнеупорности. Так, при огнеупорности массы по пироскопам ПК 163—165 обжиг заканчивают при ПК 132—135; если огнеупорность массы составляет ПК 167—169, то созревание ее происходит при ПК 138—141 и т. д. Интервал максимальных температур обжига высококачественных фарфоровых масс составляет 40—50° С.

Электрофарфор, обжигаемый при температуре 1350° С, имеет максимальную механическую прочность при температуре обжига 1320° С, а наибольшую электрическую прочность — при 1390° С.

При правильном проведении конечного периода нагревания (в частности, при отсутствии термических ударов) обеспечивается достаточная однородность состава стекловидной фазы, а также распределение в ней кристаллических фаз (в частности, чешуйчатого и игольчатого муллита) и газовых пузырьков, что положительно отражается на внешнем виде и физических свойствах изделий.

Благоприятное влияние продолжительной конечной выдержки сказывается на образовании в стекловидной фазе сетки многочисленных кристаллов муллита.

Относительно непродолжительная выдержка при соответственно повышенной температуре, наоборот, обеспечивает образование длинных разбросанных игл муллита, что важно для хозяйственного фарфора, так как способствует увеличению показателя просвечиваемости (табл. 1).

В конечном периоде нагревания коэффициент термического расширения фарфора снижается в результате растворения мелких зерен кварца в стеклофазе и образования широкой реакционной каймы вокруг крупных кристаллов кварца. Это проявляется в отсутствии значительного изгиба кривой расширения при нагревании (500—650° С) образцов обожженного фарфора.

Таблица X.1

Параметры режима обжига хозяйственного фарфора на природном газе в туннельных печах

Показатель	Интервал температуры, °С								
	20—900	900—1040	1040—1260	1260—1410	1410—1440	1410—1360	1360—1160	1160—800	800—40
Относительная длительность стадий, %	14—16	15—18	12—14	3—5	1—3	3—5	5—7	5—7	29—35
Содержание $CO + H_2$, %	—	1—2	4—6	3—4	3—4	3—4	2—9	1—2	—

При установлении режима обжига учитывают, что кристобалит может возникать из каолинита при нагреве масс, содержащих небольшое количество полевого шпата, или из мелкозернистого кварца (например, при вводе в фарфоровую массу гусевского камня). При

сутствие кристобалита в фарфоре отражается на кривой его повторного нагрева в виде изгиба при температуре 180—270° С.

Так как по мере повышения температуры и кислотности расплава растворимость в нем газов понижается и упругость их растет, а вязкость стекловидной фазы уменьшается, то при пережоге объем газовой фазы значительно возрастает, плотность фарфора снижается и увеличивается склонность фарфора к вспучиванию.

В процессе спекания фарфоровых изделий особое внимание необходимо уделять предупреждению термических ударов и прорывов окислительных газов, что предотвращает появление местных вздутий — пузырей, диаметр которых иногда достигает 1 см.

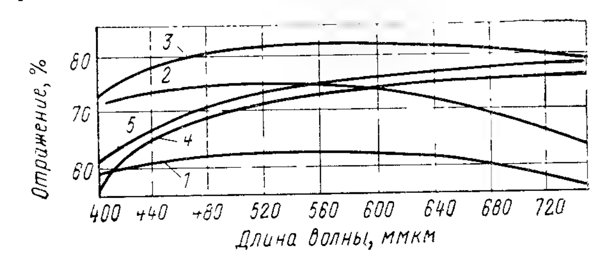


Рис. X.7. График спектрального отражения образцов фарфора, обожженных при различных режимах газовой среды:

1 — при температуре 1350° С (до 1040°С — окислительная среда); *2* — при температуре 1410° С (1040—1280° С — восстановительная среда); выше 1280° С (слабовосстановительная среда); *3* — при температуре 1460° С (окислительная среда); *4* — при температуре 1350° С (воздушная среда); *5* — при температуре 1410° С (воздушная среда)

На рис. X.7 показано влияние условий обжига на линии спектрального отражения образцов фарфора. Оптимальные показатели (кривая *2*) имеет нормально обожженная фарфоровая масса. Несколько меньшая белизна характерна для массы, обожженной при температуре 1350° С (кривая *1*). Образцы имеют завышенную (согласно показаниям фотометра) белизну (кривая *5*), что связано с возникновением при обжиге желтоватого оттенка фарфора. Более значительной желтизной и соответственно величиной отраженного света отличается образец, нагретый в интервале температур 1410—1460° С в окислительной среде (кривая *3*).

При проведении конечного периода нагрева фарфора газовая среда не должна содержать свободного кислорода, чтобы предотвратить переход солей железа в трехвалентные соединения, что в противном случае вызвало бы появление желтизны, увеличение пористости и снижение физико-механических показателей. В то же время не приемлемо и сильное восстановление, способствующее образованию Fe_3O_4 черного цвета или коллоидного железа.

На протяжении этого периода обжига по мере созревания фарфора содержание $CO + H_2$ в печных газах снижают примерно до 2—3%. Одновременно с этим увеличивают количество распыленной воды, вводимой в топки при сжигании природного газа. Наглядное представление об явлениях, происходящих в высокотемпературный период обжига фарфора, дает схема, разработанная Геворкяном [7].

Сразу после окончания нагрева фарфор медленно остывает, температура понижается на 50—100° С, благодаря чему поверхность глазури становится более гладкой.

Если фарфор в диапазоне высоких температур чрезмерно медленно охлаждают в окислительной среде, то двухвалентное железо частично переходит в трехвалентное, и поверхность изделий приобретает желтоватый оттенок.

Скорость остывания в интервале температур между отвердением глазурного покрытия и стеклофазы регулируют в зависимости от того, какую физическую характеристику необходимо повысить. Если нужно увеличить механическую прочность, охлаждение ускоряют в большей мере, чем если требуется повысить термическую стойкость. В интервале температур от 700—800 до 500—450° С скорость остывания несколько замедляется. При температуре ниже 500—450° С допускается более интенсивное охлаждение, за исключением тех случаев, когда в фарфоре содержится большое количество кристобалита.

Скоростному обжигу фарфоровой массы свойственны следующие особенности [15]:

а) повышается температурный уровень протекания процессов; например, температура наибольшей усадки образцов фарфоровой массы при увеличении скорости нагревания с 0,75 до 15° С/мин повышается на 90° С. Практически температура скоростного обжига на 20—40° С выше, чем в туннельной печи, что в производстве фарфора положительно сказывается на его белизне и просвечиваемости; однако одновременно возрастает склонность фарфора к образованию пузырей и других дефектов, особенно при использовании некондиционного сырья;

б) изменяется плотность обожженного фарфора из-за развития в нем газовой фазы; например, при увеличении скорости нагревания образцов фарфоровой массы с 0,75 до 15° С/мин величина усадки уменьшается на 0,8%;

в) снижается вязкость расплава вследствие меньшего растворения в нем тугоплавких компонентов (SiO_2, Al_2O_3 и др.), при этом увеличивается склонность изделий к деформации;

г) повышаются различия в кинетике усадки внешних и внутренних слоев изделия;

д) наблюдается большее различие в размерах кристаллов муллита в псевдоморфозах по полевому шпату и в основной массе при изменении количества муллита; уже реакционная кайма вокруг зерен кварца, повышается количество реликтов кварца.

Увеличение продолжительности заключительного периода нагревания способствует повышению однородности микроструктуры фарфора.

Обжиг в щелевых печах тонкостенных фарфоровых чашек, кружек, пиал и других изделий в зависимости от массы термостойкости и теплоемкости огнеупорного припаса и транспортных устройств, от конструкции печи, формы и толщины стенок изделий продолжается в течение 2—4 ч.

Продолжительность обжига по сравнению с продолжительностью обжига в туннельных печах можно резко сократить нагревом изделий в каналах минимальной высоты, когда создаются условия, близкие к индивидуальному обжигу в лабораторных печах.

Условием получения гладкой поверхности глазури и предотвращения деформации низкоспекающегося фарфора при однократном обжиге в конвейерных печах является выдержка при максимальной температуре длительностью, равной примерно 1/4 периода нагревания. Такая особенность режима обжига (из-за соответственно пониженной максимальной температуры печной среды) благоприятна также для удлинения срока службы роликов. В период инверсии склонность кварца к растрескиванию значительно меньшая, чем у фаянса.

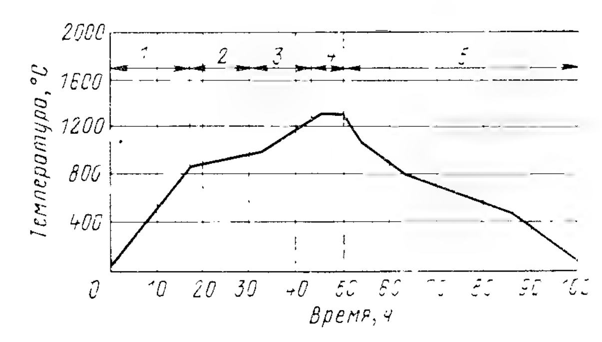


Рис. X.8. Режим однократного обжига высоковольтного фарфора в туннельной печи:

1 — окислительная газовая среда; 2 — остроокислительная; 3 — восстановительная; 4 — слабовосстановительная; 5 — воздушная

На рис. X.8 показан режим однократного обжига высоковольтных изоляторов и других толстостенных фарфоровых изделий в туннельной печи, обеспечивающий получение высококачественной продукции.

Температура обжига электрофарфора на отечественных заводах — 1320—1370° С. Пористость по водопоглощению изоляторов не превышает 0,1—0,3%.

В туннельной печи длиной 121 м, шириной 2,3 м в свету, высотой от платформы вагонеток до замка свода 2 м газовая среда на первых 22 позициях — окислительная, с 23-й по 32-ю — восстановительная, с 33-й по 60-ю — окислительная. Расход городского газа 420 $м^3$ при выпуске 450 кг/ч толстостенных опорно-проходных высоковольтных изоляторов продолжительностью цикла 140 ч при соотношении массы вспомогательной загрузки и фарфора 3,8 : 1,0.

Отходящие газы в спускном дымоходе этой печи, работающей на всем протяжении под положительным давлением, содержат 4% CO_2 и 13,5% O_2.

На участке промежуточной выдержки содержание CO_2 составляет в нижней части садки 5,8%, в верхней — 7,2%, а O_2 соответственно 10,8 и 9%.

Установлено, что при нагревании опорно-стержневых глиноземистых фарфоровых изоляторов диаметром 180 мм максимально допустимый перепад температур между центром и поверхностью не должен превышать 90° С. При увеличении перепада температур до 135° С количество разорвавшихся изоляторов возросло до 60—100%.

В зависимости от ассортимента продукции в туннельных печах для обжига толстостенных и крупногабаритных изделий целесообразно следующее распределение длин зон подогрева, обжига и охлаждения, %: 14—20; 33—39; 44—50.

В отличие от обжига электрофарфора обжиг фарфоровых изделий хозяйственного назначения характеризуется более высокой температурой и меньшей продолжительностью. Тонкие стенки и сравнительно простая конфигурация таких изделий позволяют устранить выдержки в периоды дегидратации массы и инверсии кварца при охлаждении изделий, а также ускорить все этапы процессов нагревания и охлаждения.

При содержании в массе мелких зерен кварца (например, в гусевском камне) начальный период остывания осуществляют возможно быстрее (не менее 130°С/ч) во избежание кристобалитизации и появления цека на глазури. Плотность загрузки вагонеток туннельной печи характеризуется следующим капсельным объемом тысячи штук изделий: от 1,6 $м^3$ при обжиге изделий чайного набора на этажерках до 2,2 $м^3$ при обжиге тарелок в капселях.

На большинстве западно-европейских заводов температура обжига хозяйственного фарфора — 1380—1410°С, а продолжительность пребывания фарфоровых изделий в туннельных печах в зависимости от размеров их поперечного сечения и размеров изделий — 30—40 ч, в том числе примерно 50% времени затрачивается на остывание. Длительность выдержки при конечной температуре — 1,0—1,5 ч. Такова же продолжительность буферного безокислительного периода охлаждения. После этого садка остывает главным образом благодаря рекуператорам, устроенным в своде и стенах печи.

Режимы обжига фарфоровых изделий, изготовленных из отечественного сырья, отличаются от зарубежных режимов более продолжительным нагреванием в интервале 900—1040° С из-за присутствия в массе гидрослюды и общей интенсификации процессов.

Решающее значение для успешного внедрения однократного обжига тонкостенных изделий имеет их конфигурация. Учитывая опыт работы Первомайского, Дмитровского и других фарфоровых заводов, выпускающих по технологии однократного обжига полые изделия — чашки, кружки, пиалы, можно решать вопрос о переводе на однократный обжиг и других изделий. При таком обжиге будет затруднено выделение гидратной воды и сгорание органических веществ, находящихся в малопористой массе, по сравнению с политым обжигом предварительно прокаленного материала. В связи с этим продолжительность выдержки в окислительной среде должна быть на 20—30% больше, чем при обычном обжиге.

Однократный обжиг применяют при изготовлении следующих видов изделий:

тарелок, кружек и других изделий, изготовленных из низкоспекающейся фарфоровой или полуфарфоровой массы и предназначенных для использования на предприятиях общественного питания;

толстостенных блюд, селедочниц, масленок, салатников и других крупных фарфоровых изделий, не подверженных размоканию при глазуровании;

кружек, стаканов, чашек, пиал, ваз и других полых изделий, имеющих удовлетворительное качество глазури с использованием специальных способов глазурования на полуавтоматах;

скульптурных изделий.

При обжиге фарфоровых изделий в периодически действующих печах, обогреваемых природным газом (рис. X.9), в начальный период

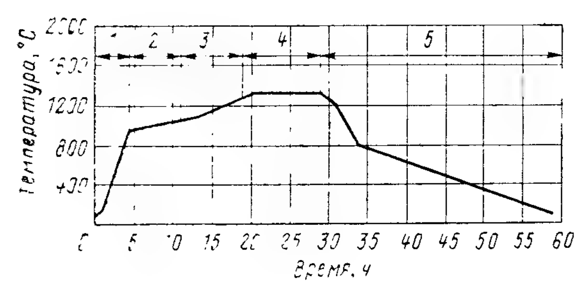


Рис. X.9. Режим обжига фарфоровой посуды в печи периодического действия на природном газе:

1 — окислительная газовая среда; 2 — остроокислительная; 3 — восстановительная; 4 — слабовосстановительная; 5 — воздушная

допускается быстрое повышение температуры. На протяжении 4—6 ч после начала обжига в зависимости от объема камеры, влагосодержания сырца, плотности садки и других условий температуру садки в первом круге доводят до 980—1010° С.

Затем в течение 4—6 ч осуществляют окислительную промежуточную выдержку со скоростью нагревания 15—25° С/ч до падения в центре камеры на высоте 1,5 м над подом пироскопа ПК 104.

С переходом на восстановительную стадию обжига (вплоть до окончания процесса нагревания) в топочные факелы вводят воду через газо-водяные форсунки конструкции Первомайского фарфорового завода. Коэффициент расхода воздуха в восстановительный период равен 0,8—0,9.

Восстановительный огонь осуществляют со скоростью нагревания 40—50° С/ч при среднем давлении газа перед горелкой 590 Па (60 мм вод. ст.) и давлении воздуха 390 Па (40 мм вод. ст.). В зависимости от плотности садки и скорости подъема температуры восстановление выполняют до падения пироскопов ПК 128—130. При этом температура по периферии садки доходит до 1350° С.

При переходе на нейтральный период давление газа снижают до 390 Па (40 мм вод. ст.), а давление воздуха повышают до 590 Па (60 мм вод. ст.). До конца обжига соотношение расхода газа и воздуха, а также воды устанавливают в зависимости от температуры в первом круге садки в печной камере. Содержание $CO - H_2$ при использовании природного газа — 1—2 %.

Первый обжиг костяного фарфора на заводе имени М. В. Ломоносова до спекшегося состояния осуществляют при температуре

1280° С, второй (политой) — при 1160° С (рис. X.10). Циклы обоих обжигов в двухъярусной электропечи длиной 14,7 м и мощностью 360 кВт продолжаются примерно по 8—10 ч.

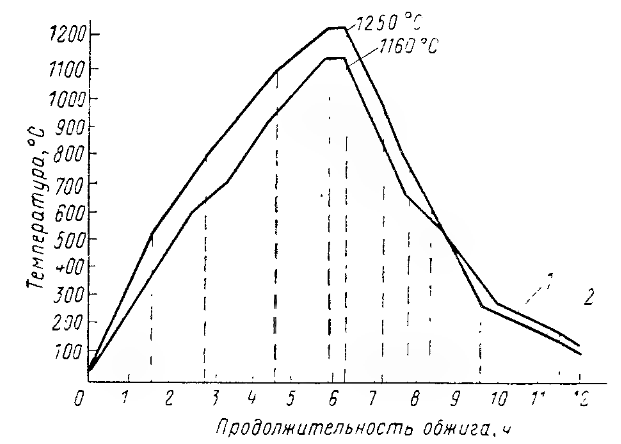


Рис. X.10. Режимы обжига костяного фарфора в двухъярусной щелевой электропечи:

1 — при первом обжиге; 2 — при втором обжиге

Содержание фосфатных соединений в костяном фарфоре обусловливает его достаточную даже для тонкостенных изделий механическую прочность — предел прочности при изгибе 9000 Н/см² (900 кг/см²). Капсельный объем тысячи штук изделий в среднем равен 1 м³.

3. РЕЖИМЫ ОБЖИГА ДЕКОРИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

На фарфоровых и фаянсовых изделиях обычно краски закрепляют при температуре, не превышающей 850 С, в основном в муфельных или электрических печах. Наибольшее распространение на отечественных фарфоровых и фаянсовых заводах получили печи с сетчатым конвейером, разработанные УНИИСП, рольганговые и вертикально-щелевые печи.

Продолжительность обработки изделий, декорированных надглазурной росписью, составляет, ч: в производстве фарфоровой посуды — 1,3—2,5, фаянсовой — 3—4.

Недожог вызывает матовость красок, пережог — их обесцвечивание и выгорание, чрезмерно быстрое нагревание — вскипание, а недостаточно окислительная печная среда — задымленность и сероватый оттенок.

В печах с экранированной зоной обжига (полумуфельных), оборудованных горелочными устройствами, обеспечивающими полное сгорание топлива, яркость красок сохраняется на том же уровне, что и в электрических или муфельных печах.

Способы соблюдения режимов обжига указаны в отраслевых инструкциях.

Причины возникновения некоторых дефектов при обжиге изделий и меры по их устранению приведены в табл. X.2.

Таблица X.2

Причины возникновения дефектов при обжиге фарфоровых и фаянсовых изделий и способы их предотвращения

Дефект	Причина возникновения дефекта	Способы предотвращения дефекта (для туннельных печей непрерывного действия)
1	2	3
А. При обжиге фарфоровых изделий		
1. Недостатки цвета, слабая просвечиваемость		
Низкие показатели белизны и просвечиваемости	Недостаточная степень созревания фарфоровых масс и плавления глазури	Повысить температуру политого обжига или удлинить выдержку (в соответствии с составом масс и глазурей)
Сероватая (сплошная или пятнистая) окраска фарфора, фаянса и майолики (негость по белому)	Присутствие в изделии невыгоревшего углерода	Увеличить содержание кислорода в печной среде в период окисления органических веществ или продолжительность этого периода. Улучшить газопроницаемость садки. Снизить содержание продуктов неполного сгорания в заключительный период нагрева
Желтоватая (сплошная или пятнистая) окраска (негость по желтому)	Недостаточное восстановление окрашивающих соединений в фарфоровой массе	Увеличить продолжительность восстановительного периода, уточнить интервал его температур, повысить содержание продуктов неполного сгорания (в зависимости от состава массы и газопроницаемости садки)
	Окисление FeO в Fe_2O_3 при завышенном содержании кислорода в конечном периоде нагревания или в начальной стадии остывания	Скорректировать состав печной среды в конечном периоде нагревания и в начальной стадии остывания
Сульфатная желтизна граней и донышка изделий	Образование в пористой массе сульфатов (особенно с соединениями железа), выступающих на поверхность полуфабриката при его высыхании	Обеспечить загрузку в печь тщательно высушенных капселей и полуфабриката
Желто-коричневый налет на краях и донышке изделии, металлизация покрытия	Минерализующее действие продуктов неполного сгорания топлива (особенно высоковязкого мазута) на поверхность изделий, обжигаемых без капселей в начальной стадии охлаждения	Предотвратить поступление продуктов неполного сгорания с большим содержанием сажистого углерода и углеводородов в зону охлаждения, не допускать резкого снижения температуры в начале охлаждения

1	2	3
Матовые пятна, кристаллизация, слабый блеск глазури	Недостаточная степень расплавления глазури (особенно при повышенном содержании в ней Al_2O_3)	Повысить температуру обжига изделий или увеличить продолжительность выдержки при максимальной температуре
	Взаимодействие серусодержащих газов с CaO и C при высоких температурах	Обеспечить своевременное выжигание углерода. Использовать мазут марки 40 нормальной вязкости с содержанием серы не более 0,5%
	Слишком медленное охлаждение при высокой температуре изделий, покрытых глазурями, особенно содержащими CaO и MgO	Интенсифицировать охлаждение в интервале температур расплавленного состояния глазури
Разнотонность, разнотолщинность глазури	Неодинаковые условия обжига из-за неравномерного распределения температуры и содержания газов в садке. Неравномерная толщина нанесенного слоя глазури	Создать более однородное распределение температуры и состава газов в садке. Правильно подобрать плотность глазури в соответствии с пористостью глазуруемой керамики
Задувка (ошлаковка)	Образование на глазури окрашенного легкоглавкого силиката в результате осаждения летучей золы из дымовых газов	Использовать мазут с содержанием золы не более 0,15%. Применить канализированный под на вагонетках высотой не менее 0,2 м для лучшего осаждения золы из топочных газов
Сухость края, следы соприкосновения фаянсовых изделий с полозками и гребенками	Завышенная температура бисквитного обжига, не соответствующая составу массы	Снизить температуру бисквитного обжига
2. Трещины в изделиях и глазури		
Трещины (бой и брак) при нагревании изделий	Появление напряжений в массах, нагреваемых с чрезмерной скоростью: при удалении гигроскопической и гидратной влаги;	Снизить скорость нагревания полуфабриката в туннельных печах до температуры 300—400° С;
	при удалении основного количества конституционной воды, а также при полиморфном превращении кварца	осуществлять при обжиге толстостенных изделий, а при ускоренном обжиге и тонкостенных — постепенное нагревание в интервале температуры 500—650° С

1	2	3
Трещины при охлаждении изделий	Напряжения, возникающие при резком охлаждении: при переходе материала изделий из вязкого состояния в хрупкое;	Менее интенсивно снижать температуру изделий в критические периоды: при температуре 850—700° С;
	при превращении кварца из α-формы в β-форму, когда объем кристаллов уменьшается примерно на 2% и создаются структурные напряжения;	в интервале температур 625—500° С;
	при превращении кристобалита из α-формы в β-форму, когда объем кристаллов уменьшается примерно на 4,2% и создаются структурные напряжения	в интервале температур 270—180° С (например, при большом содержании в фарфоровой массе гусевского камня)

3. *Деформация изделий и образование пузырей*

	Перенасыщение жидкой фазы фарфора парами и газами, своевременно не удаленными из массы и глазури и выделяющимися при высоких температурах. Термический удар	
Прыщи (местные мелкие конические вздутия в фарфоре)	Остатки органических веществ и конституционной воды	Обеспечить проведение первой выдержки при температуре 850—1050° С (в зависимости от состава массы) в среде с достаточным содержанием кислорода, исключив возможность термических ударов
Пузыри (местные крупные газовые вздутия в фарфоре)	Присутствие кислорода и серусодержащих газов диссоциации	Обеспечить в период интенсивного спекания массы до закрытия капилляров достаточную полноту восстановления трехвалентного железа в двухвалентное и разложение сульфатов в интервале температур от 1000—1050 до 1180—1250° С (в зависимости от состава массы). Не допускать термических ударов и завышения температуры обжига. Применять ввод распыленной воды в топочные факелы природного газа и жидкого топлива

1	2	3
Вспученность фарфора (образование большого количества замкнутых пор и пузырей)	Остатки межслойной воды монтмориллонита, конституционной воды различных глинистых компонентов массы, невыгоревшего углерода и газов диссоциации при использовании раноспекающихся масс или снижения вязкости стекловидной фазы	Скорректировать состав массы для повышения температуры спекания. Снизить температуру дегидратации и дегазации. Предотвратить загрязнение массы карбидкремниевой пылью. Вывести из состава массы политрой бой
Деформация изделий	Возникновение напряжений в изделии, находящемся в пластическом (вязком) состоянии, особенно при одностороннем нагревании, вызывающем неодинаковую усадку	Обеспечить равномерный нагрев изделий по всему периметру, не допуская пережога от локального воздействия топочных факелов путем ввода распыленной воды и обеспечения равномерной циркуляции печных газов в садке изделий

4. *Дефекты глазури*

Сборка, плешины, скатывание, отслаивание глазури	Поступление в печь недосушенного полуфабриката;	Тщательно высушить полуфабрикат, вводимый в печь;
	поглощение полуфабрикатом в начале нагревания значительного количества влаги из печной среды;	обеспечить быстрый подъем температуры в зоне подогрева;
	осаждение на холодном полуфабрикате сажистого углерода;	предотвратить науглероживание холодного полуфабриката выдержкой в окислительной среде;
	резкое изменение температуры в процессе нагревания;	не допускать резких температурных перепадов;
	недостаточное удаление воды из глазурной суспензии, вызванное чрезмерной плотностью бисквита;	снизить температуру первого обжига;
	слишком высокая огнеупорность подглазурных красок;	уменьшить огнеупорность подглазурных красок добавлением флюса;
	существенно меньшая величина коэффициента термического расширения (КТР) глазури по сравнению с КТР керамического тела	скорректировать состав глазури; уменьшить тонкость помола кварца

1	2	
Пузыри, вскипание, недостаточно гладкая поверхность глазури	Перенасыщение глазурного расплава газами, проникшими из фарфора и образовавшимися в глазурном слое, которые не успевают удалиться через слой расплавленной глазури	Обеспечить достаточно высокую температуру первого обжига; своевременную дегидратацию и дегазацию при первой выдержке, проводимой при температуре 850—1050° С в зависимости от состава массы
Скорлупообразная чешуйчатость — мелкие углубления в виде шаровых сегментов размером 50—150 мкм, глубиной до 2 мкм с зазубренными краями. Наколы — кратеровидные углубления размером 80—300 мкм	Втягивание участков поверхности глазури в глубь ее слоя в результате сокращения объема пузырьков диаметром 20—70 мкм. Из-за шероховатости, а также выступающих кристаллов поверхность глазури склонна к загрязнению. Втягивание участка поверхности глазури в результате сокращения объема пузырьков диаметром более 80 мкм	Обеспечить: постепенное нагревание в начальной стадии восстановительного периода; резкое повышение температуры в остальное время восстановительного периода до температуры 1180—1260° С, когда происходит переход трехвалентного железа в двухвалентное, и разложение сульфитов при минимальном содержании CO — H_2, составляющем, например, при обжиге изделий с белой глазурью 4—9%; предотвращение термических ударов; постепенное снижение температуры от максимальной на 50—100° С в безокислительной среде для поддержания фарфоровой глазури в подвижном состоянии, способствующем заплавлению углублений; последующее быстрое остывание до перехода глазури в застывшее состояние для улучшения ее блеска
Мутная глазурь (видимая невооруженным глазом при величине пузырьков более 0,1 мм)	Образование многочисленных пузырьков на поверхности глазури вследствие слишком большой вязкости. В порах содержатся при газовых средах любого состава: двуокись углерода, H_2O, азот, кислород, сернистые газы, при восстановительной газовой среде — дополнительно окись углерода и водород	Повысить максимальную температуру обжига и увеличить выдержку для уменьшения вязкости, препятствующей удалению газов. При обжиге глазурованных фаянсовых изделий, майолики и других тонкокерамических пористых изделий обеспечить своевременное протекание процессов дегидратации и дегазации (особенно обезуглероживания) глазури путем проведения обжига в окислительной среде с постепенным повышением температуры

1	2	
Б. При обжиге фаянса		
Цек (волосяные трещины глазури на фаянсе и майолике)	Повышенная пористость бисквита фаянса и майолики	Повысить максимальную температуру первого обжига или увеличить продолжительность выдержки, не повышая температуры
	Величина КТР глазури намного больше КТР массы (особенно сильно влияет при утолщенном слое глазури)	Уменьшить различие величин КТР бисквита и глазури, увеличив, например, содержание в массе кварцевого песка путем добавления каолина; повысить тонкость помола кварца
	При переходе на скоростной обжиг пористых изделий (например, фаянсовых облицовочных плиток) в связи с повышением температуры обжига на 30—50 °С КТР обожженной массы уменьшается, что усиливает напряжение между нею и глазурью	Во избежание цека глазури при скоростном обжиге пористых изделий целесообразно, помимо теплотехнических приемов, скорректировать состав глазури для снижения КТР
Вспенившаяся глазурь	Развитие газовой фазы в результате воздействия сероводорода и сернистого ангидрида, содержащихся в печной среде, а также завышения температуры или излишней продолжительности высокотемпературного периода обжига	Использовать мазут с содержанием серы не более 0,5%. Снизить максимальную температуру политого обжига или изменить состав глазури. Состав глазури твердого фарфора должен обеспечивать ее размягчение при вязкости 10^4 пуаз и затвердевание при вязкости 10^3 пуаз
Глазурный пузырь	Присутствие сажистого углерода в глазурном покрытии	Обеспечить окисление углерода в начальной стадии плавления глазури
В. При обжиге декорированных изделий		
Изменение тона красок	Изменение тона красок под воздействием восстановительных газов	Обеспечить своевременное обезуглероживание изделий в политом обжиге и окислительную среду при закреплении красок

Продолжение

1	2	3
Черный налет на декорированных изделиях. Мрамороподобный внешний вид изделий	Окрашивание поверхности изделий вследствие большого скопления сажистого углерода. Обугливание канифоли, растворенной в скипидаре	Обеспечить удаление из печного пространства выделяющихся паров и газов при температуре 100—200° С
Вскипевшая краска, сморщенный рисунок	Интенсивное выделение паров и газов из зеленой, желтой, серой и других красок (особенно в толстом слое), вызванное испарением скипидара (100—200° С), кипением органических веществ (200—350° С)	Обеспечить постепенное повышение температуры в начале декорированного обжига для дегазации покрытия до начала его размягчения
Ослабленный тон декалько и красок	Выгорание декалько и красок под воздействием завышенной температуры, но соответствующей их составу: при обжиге изделий, декорированных подглазурными красками; при обжиге изделий, декорированных декалько и надглазурными красками	Обеспечить закрепление красок при соответствующих температурах, °С, например, цинковые — до 1180; сурьмяные и свинцово-хромовые — до 1080; жидкое золото — до 790; пурпурная и темно-синяя — до 850
Тусклый рисунок Сухость краски	Недостаточная температура закрепления красок или слишком короткое время высокотемпературного нагревания	Повысить степень обжига для обеспечения расплавления флюса и его частичного взаимодействия с поверхностным слоем глазури

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Августиник А. И.** Керамика. М., Промстройиздат, 1957. 488 с.
2. **Булавин И. А.** Теплотехника в производстве фарфора и фаянса. М., «Легкая индустрия», 1972. 440 с.
3. **Городов Н. Н., Ковельман Г. А., Юрчак И. Я.** Новая техника в производстве фарфора и фаянса. М., «Мир», 1958. 288 с.
4. **Кингери У. Д.** Введение в керамику. М., Стройиздат, 1967. 499 с.
5. **Вендлер Л., Барем М., Шиганек К.** Причины возникновения дефектов на поверхности глазури. Морфология поверхностных дефектов фарфоровых глазурей. Экспресс-информация ГИКИ. М., ЦНИИТЭИлегпром, 1972, вып. 3, 21 с.
6. **Ковельман Г. А., Баренбойм А. М.** Охлаждение печей для обжига изделий тонкой керамики. — «Керамический сборник», 1940, № 8, с. 1—14.
7. **Будников П. П., Геворкян Х. О.** Обжиг фарфора. М., «Легкая индустрия», 1972. 110 с.
8. **Булавин И. А.** и др. Спекание и оптимальные режимы обжига тонкой керамики. М., ЦНИИТЭстрой, 1969, 62 с.
9. **Дудеров Г. Н.** Обжиг спекающихся керамических масс. М., Промстройиздат, 1957. 124 с.

10. **Згонник Н. Н.** Материалы Всесоюзного совещания теплотехников фарфорофаянсовой промышленности. М., Стройиздат, 1950. с. 41—56.
11. **Келер Э. К., Леонов А. И.** Влияние примесей в каолине на процессы, происходящие в нем при нагревании. М., ДАН СССР, 1955, т. 101, № 1, с. 137—139.
12. **Клейнер М. Б.** К вопросу о причинах вспучивания фарфора при обжиге. Труды ГИКИ, 1974, № 1 (52), с. 3—23.
13. **Никулин Н. В., Кортнев В. В.** Оборудование и технология производства электрокерамических конструкций. М., «Энергия», 1969. 410 с.
14. **Бернштейн П. И., Красноусова А. С.** Параметры производства облицовочных плиток из легкоплавких глин в роликовых печах.—«Стекло и керамика», 1967, № 2, с. 27—28.
15. **Мороз И. И.** Совершенствование производства фарфоровых и фаянсовых изделий. М., «Легкая индустрия», 1973. 248 с.

ГЛАВА XI

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ОПЕРАЦИИ, СВЯЗАННЫЕ С ОБЖИГОМ ИЗДЕЛИЙ

С двустадийным обжигом тонкокерамических изделий связаны следующие производственные операции:

1) загрузка, или так называемая заборка, полуфабриката-сырца в капсели, на этажерочные вагонетки (при бескапсельном обжиге) или на транспортер конвейерной печи;

2) установка заполненных капселей на туннельные вагонетки или в камеры печей периодического действия;

3) разгрузка печей или вагонеток и выгрузка изделий из капселей после первого обжига, а также разгрузка этажерок или конвейеров при бескапсельном обжиге;

4) рассортировка полуфабриката после первого обжига и удаление дефектных и разбитых изделий;

5) очистка изделий от пыли с помощью механических или ручных щеток или обдувки сжатым воздухом;

6) глазурование изделий и связанные с ним зачистка и оправка нанесенного слоя глазури и склеивание полых изделий, обжигаемых попарно;

7) загрузка глазурованных изделий в капсели или на этажерочные вагонетки;

8) установка загруженных капселей на вагонетки или в камеры печей для второго обжига;

9) разгрузка печей или вагонеток и выгрузка изделий из капселей или съем изделий с этажерок и конвейеров после второго обжига.

Если полуфабрикат маркируют или декорируют подглазурными красками, эти операции выполняют перед нанесением глазури.

1. ЗАГРУЗКА ИЗДЕЛИЙ В КАПСЕЛИ И НА ЭТАЖЕРКИ ПЕЧНЫХ ВАГОНЕТОК

В капсели и обжигательные печи изделия загружают разными способами в зависимости от вида продукции, стадии обжига и типа обжигательных печей. Для загрузки изделий ис-

пользуют огнеупорные капсели и кассеты, плиты и стойки каркасных этажерок для бескапсельного обжига, подставки и бомзы, гребенки, крестики, полозки, клинышки и другие приспособления.

Капсели служат для защиты обжигаемых изделий от загрязнения летучей золой, а также от прямого воздействия дымовых газов и пламени. Образуя при сборке в колонны устойчивый огнеупорный каркас, поддерживающий изделия в печах при высокотемпературном обжиге, они позволяют максимально использовать высоту печного пространства. Вместе с тем они способствуют упрощению и ускорению загрузки печей и выгрузке из нее изделий.

Форму и размеры капселей, зависящие от конфигурации, величины, количества и способов установки обжигаемых изделий, выбирают с таким расчетом, чтобы капсельный объем, а следовательно, и необходимое для обжига печное пространство были минимальными. При этом должно быть учтено изменение размеров изделий вследствие огневой усадки и предусмотрены свободные зазоры между ними и стенками капселя во избежание повреждения полуфабриката в процессе загрузки. Толщина стенок и дна должна обеспечивать достаточную механическую прочность капселей под нагрузкой при высокой температуре.

Наибольшее распространение в фарфоро-фаянсовом производстве получили капсели цилиндрической формы, которые обычно используют для первого обжига хозяйственной посуды и политого обжига глазурованных полых изделий, а также изоляторов и т. п. Для наращивания высоты капселей с учетом высоты загружаемого полуфабриката употребляют кольцевые обечайки того же диаметра.

Длительность срока службы капселей, характеризуемая кратностью их использования, влияет на качество продукции и технико-экономические показатели производства.

Перед заполнением капсели тщательно очищают от пыли и загрязнений. Наружную сторону дна и внутреннюю боковую поверхность покрывают защитным слоем глазури или глиноземистой массы, предохраняющим изделия от засорения частицами шамота, возникающими при растрескивании капселя. Коэффициенты термического расширения обмазки и капселя не должны существенно различаться. Чтобы капсели не слипались при высокотемпературном обжиге, поверхность их смазывают с помощью кисти изолирующей неспекающейся глиноземистой суспензией.

Дно предварительно обожженных капселей для фарфоровых тарелок и блюдец выравнивают нанесением ровного тонкого слоя огнеупорной массы кашицеобразной консистенции с помощью шаблона при вращении капселя на шпиндельном станке.

Капсели, разбитые в процессе эксплуатации на две-три части и не имеющие других значительных дефектов, склеивают специальной мастикой, увеличивая кратность их использования на два—четыре оборота.

Каркасные плиты и стойки применяют при сооружении многоярусных полочных этажерок (бескапсельный обжиг в туннельных печах).

Толщина плит зависит от используемого огнеупорного материала и обычно составляет 30—40 мм для шамотных и 15—25 мм для карбидкремниевых изделий.

Форму стоек выбирают с учетом минимального ограничения свободной площади загрузки полок. В этом отношении особо целесообразны стойки с двухтавровым профилем.

Чтобы предотвратить возникновение засорки на изделиях, верхние и нижние стороны полок покрывают защитной глиноземистой обмазкой.

Огнеупорные кассеты — цельные и сборные — обычно применяют для обеспечения более плотной загрузки при бескапсельном обжиге глазурованных плоских изделий, например, стенных облицовочных плиток, фаянсовых и полуфарфоровых тарелок, блюдец и др. Изделия загружают в вертикальном (хозяйственный фаянс) или горизонтальном положении (облицовочные плитки, полуфарфоровые изделия).

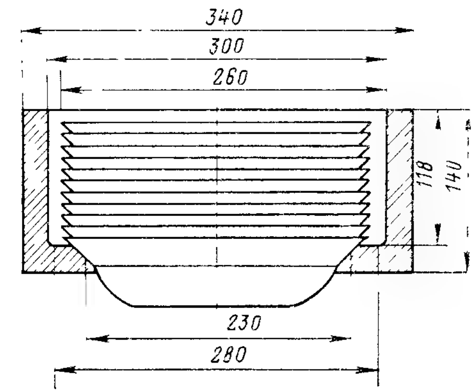


Рис. XI.1. Капсель с вырезным дном для первого обжига тарелок

Уплотнение загрузки капселей и полочных этажерок изделиями и степень использования печного пространства, характеризующаяся отношением полезно занимаемого объема ко всему объему камеры или канала печи, являются основными факторами, определяющими при прочих равных условиях пропускную способность печей, удельный расход технологического топлива и другие технико-экономические показатели. Поэтому в тонкокерамическом производстве применяют самые разнообразные способы уплотнения загрузки капселей изделиями и повышения коэффициента использования печного пространства, величина которого зависит также от формы капселей, способов садки и размеров печей.

Для первого обжига изделия плоского ассортимента (тарелки, блюдца и т. п.) загружают стопками, установленными на подставки, измельченный шамот или на просеянный кварцевый песок (лотки, блюда).

Для обжига тарелок при этом широко применяют капсели с вырезанным дном, на кромки которого краями опираются подставки с тарелками (рис. XI.1). Для заполнения этих капселей в вырез дна вставляют деревянный цилиндр, на него помещают стопку тарелок и капсель поднимают вверх. Такой способ загрузки позволяет уменьшить диаметр капселей благодаря минимальному свободному зазору между изделиями и стенками капселей, увеличить количество изделий в стопке и облегчить условия работы, что способствует повышению производительности труда.

Более крупные полые изделия (суповые чашки, чайники), поступающие на первый обжиг, размещают в один ряд, мелкие (солонки, горчичницы и т. п.) — небольшими стопками по 3—4 шт. Тонкостенные чашки, кружки и бокалы устанавливают на сухие бомзы или без бомз склеенными попарно. Кувшины, чайники и суповые чаши загружают вместе с крышками.

Глазурованную хозяйственную и химическую фарфоровую посуду, изоляторы, технический фарфор и другие спекающиеся изделия устанавливают на очищенную от глазури опорную поверхность во избежание приплавления к капселям или полкам при обжиге.

Рис. XI.2. Капсель (*а*) и кассета (*б*) для политого обжига фаянсовой плоской посуды

Для пористых глазурованных изделий, например для фаянсовой хозяйственной посуды, которая в период эксплуатации соприкасается с водой или другими жидкостями, такой способ садки не пригоден, так как при этом жидкость будет заполнять капилляры.

Полые изделия устанавливают на подложенные под них трехгранные стерженьки, трехконечные звездочки с остриями и тому подобные вспомогательные детали, оставляющие в местах соприкосновения с глазурью лишь точечные малозаметные следы.

Тарелки, миски, блюдца, блюда и другие плоские фаянсовые изделия загружают в капсели прямоугольной формы, а при бескапсельном обжиге — в кассеты или непосредственно на полки этажерок, устанавливая изделия вертикально на ребро. В таком положении они находятся на соответствующем расстоянии друг от друга, опираясь краями на трех- или четырехгранные призмочки, уложенные на дно или выступы стенок капселя, на вставленные в прорези боковых его стенок клинья («спички») или на расположенные сверху зубчатые рейки (гребенки). При этом изделия частично входят друг в друга, за счет чего достигается высокая плотность загрузки (рис. XI.2).

Тонкостенные фарфоровые чашки, полоскательницы, тигли и тому подобные изделия легко деформируются при окончательном обжиге. Во избежание нарушения формы эти изделия обжигают на бомзах — кружках с кольцевыми канавками, диаметр которых соответствует диаметру изделий. Бомзы изготовляют из той же массы, что и изделия: они должны иметь одинаковую огневую усадку.

Чтобы избежать приплавления к ним изделий, поверхность их предварительно покрывают изолирующей смазкой, в состав которой обычно входят глинозем и каолин.

Для предотвращения деформации тонкостенных фарфоровых чашек, бокалов и блюдец при политом обжиге их склеивают попарно (вспарку), соединяя краями, которые предварительно выравнивают шлифованием на вертикальных шпиндельных станках с абразивными кругами. Клеящую пасту, в состав которой обычно входит 7—10% органического клея (КМЦ, столярный клей), 6—8% изолирующего наполнителя (каолин, глинозем) и 83—87% воды, наносят на очищенные от глазури края изделий, слегка прижимая их к шлифованной поверхности стекла, покрытой слоем пасты. Для удобства съема блюдец применяют спиральную пружину, которая приподнимает изделия над стеклом.

В этом случае, кроме того, что отпадает потребность в бомзах, обеспечивается значительное уплотнение загрузки за счет использования одного, более высокого капселя взамен двух, меньшей высоты, но обладающих бо́льшим суммарным объемом и массой (рис. XI.3, *а*).

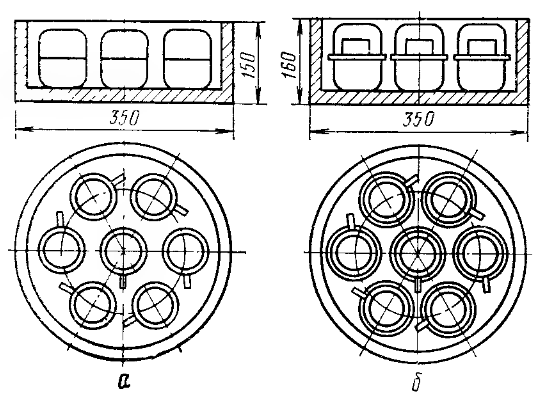


Рис. XI.3. Двухъярусная загрузка полых изделий в капсели:

а — без бомз; *б* — с бомзами

Применяемый в последнее время метод загрузки «вспарку» позволяет избежать не только деформации, но и свойственного плоским изделиям дефекта — засо́рки.

Для увеличения съема продукции с 1 м³ печного объема широко используют комбинированную загрузку изделий. С этой же целью мелкие изделия (солонки, горчичницы, аптечные баночки и т. п.) размещают под более крупными (чашками, стаканами, полоскательницами), обжигаемыми в опрокинутом виде на бомзах (рис. XI.3, *б*).

Капсельный объем, необходимый для загрузки глазурованных тарелок, блюдец и тому подобных изделий, обжигаемых на ножке, можно сократить, применяя капсели с углубленным профилированным дном, позволяющим рационально использовать внутреннюю полость изделий (рис. XI.4, *а*). Наилучшие результаты можно получить при употреблении (после проверки экономической эффективности этого способа) капселей кольцеобразной формы, в которых изделия расположены в висячем положении. На коническую или, что целесообразнее, сферическую рабочую поверхность капселей изделия опираются очищенными от глазури краями кольцевых бортиков (рис. XI.4, *б*).

Особенно тщательно следует загружать фарфоровые изделия, которые имеют далеко выступающие тонкие части или стоят на тонких опорах, так как в результате размягчения под воздействием высокой температуры они могут деформироваться под влиянием

собственной массы (веса). Для удержания их при обжиге в нужном положении применяют специальные подставки, изготовленные из той же массы, что и изделия.

Отдельные изделия технической керамики, такие, как трубы, стержни и стержневые изоляторы, обжигают в висячем положении, используя для подвешивания особые бомзы, которые отрезают после термообработки изделий.

Капсели с изделиями загружают для обжига в камеры периодически действующих печей или на туннельные вагонетки, собирая их на поду в вертикальные колонны.

При заполнении круглых печных камер колонны капселей обычно устанавливают концентрическими кругами от стен к центру камеры. Между первым рядом и стенами печи, а также между верхом колонн и контурами печного свода оставляют проход (80—120 мм) для дымовых газов. Коэффициент заполнения печного объема при круговой садке капселей круглой формы колеблется в зависимости от размеров камер от 0,57 до 0,65.

Более рациональна садка параллельными рядами, при этом коэффициент использования печного объема повышается до 0,60—0,68 [1].

Рис. XI.4. Капсели для политого обжига фарфоровых плоских изделий:
а — обычной формы; *б* - кольцеобразной формы

На туннельные вагонетки колонны капселей обычно загружают параллельными рядами, вдоль оси печи, размещая их так, чтобы между боковыми стенами печного канала, в середине сечения садки и в торцах вагонеток были зазоры, необходимые для циркуляции газов. Для обеспечения наибольшей устойчивости садки боковые колонны ставят с небольшим наклоном к середине вагонетки. Высоту колонн подбирают с расчетом максимального использования подсводового пространства.

В зависимости от размеров туннельных вагонеток и поперечного сечения канала коэффициент заполнения печного объема при загрузке капселей круглой формы составляет 0,45—0,50 при обжиге фарфора и 0,50—0,54 при обжиге фаянса (в последнем случае в торцах вагонеток оставляют меньшие межсадочные зазоры).

По сравнению с цилиндрическими более эффективны капсели прямоугольной формы, позволяющие значительно лучше использовать печное пространство. Однако следует учитывать, что чрезмерное

уплотнение садки снижает скорость движения топочных газов и может привести к повышению длительности и неравномерности обжига.

При загрузке этажерочных вагонеток, применяемых при бескапсельном обжиге, изделия размещают таким образом, чтобы площадь и высота межполочного пространства в каждом ярусе использовались наиболее полно, а сами изделия не выступали за пределы этажерки.

При изготовлении хозяйственного фарфора обычно применяют комбинированную садку глазурованных изделий.

Для плоской фарфоровой посуды массового производства бескапсельный обжиг нецелесообразен из-за повышенной потребности в печном объеме. Полые изделия устанавливают на полочные этажерки, тарелки и блюдца загружают в капсели, размещая их вверху, а иногда и по бокам садки.

При заполнении ярусов во избежание засорения полуфабриката сначала загружают верхние, а затем нижние полки. Коэффициент использования печного объема при комбинированной загрузке фарфора в туннельных печах достигает 0,54—0,58.

При загрузке туннельных вагонеток нужно тщательно следить за надежностью и устойчивостью капсельных колонн и полочных этажерок, чтобы в процессе обжига предотвратить возможность обрушивания и заклинивания садки в печном канале, приводящих к останову печи на более или менее длительное время.

В отличие от камерных печей операции загрузки туннельных вагонеток и выгрузки из них изделий протекают за пределами печного пространства. Благодаря этому улучшаются условия труда и создаются возможности более эффективной механизации и поточной организации производственных процессов, связанных с обжигом тонкокерамических изделий.

2. СОРТИРОВКА ПОЛУФАБРИКАТА

После первого обжига полуфабрикат (бисквит, утель) сортируют для выявления и исправления дефектов и удаления недоброкачественных изделий, которые в дальнейшем не должны обрабатываться.

Полуфабрикат сортируют путем наружного осмотра, слегка ударяя деревянной палочкой по краю изделий. По цвету и звуку определяют их целостность и степень спекания, что необходимо для регулирования плотности глазурной суспензии применительно к водопоглощению глазуруемого изделия. В некоторых случаях (например, для обнаружения трещин) края изделий пропитывают раствором фуксина.

Чем выше водопоглощение бисквита, тем более толстый слой глазури (при прочих равных условиях) оседает на его поверхности, и наоборот. Превышение допускаемых пределов водопоглощения может привести к появлению волосяных трещин в глазурном покрытии пористых изделий (фаянса, майолики), в первую очередь в местах утолщения глазурного слоя (например, у ножек).

При нанесении глазури на недостаточно пористый пережженный полуфабрикат, обладающий слабой всасывающей способностью, образуется слишком тонкий слой, обусловливающий появление таких дефектов, как сухость края, скатывание глазури и т. п.

3. ГЛАЗУРОВАНИЕ ТОНКОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Цель глазурования тонкокерамических изделий — получение тонкой стекловидной пленки, придающей им большую стойкость к воздействию жидкостей и газов, предохраняющей от загрязнений и существенно улучшающей внешний вид изделий. Кроме того, глазурь защищает лежащую под ней подглазурную роспись от износа в процессе эксплуатации посуды, придает краскам сочность и яркость и во многих случаях может служить в качестве самостоятельного и весьма привлекательного украшения изделий (цветные, кристаллические и другие декоративно-художественные глазури).

Глазурь наносят на предварительно обожженные или хорошо высушенные изделия в виде тонкодисперсной водной суспензии, плотность которой может колебаться в значительных пределах в зависимости от водопоглощения глазуруемого полуфабриката (см. таблицу). Содержащаяся в глазурной суспензии влага проникает в поры изделия, благодаря чему и закрепляется слой глазури заданной толщины. В процессе обжига глазурь расплавляется на поверхности изделий и при охлаждении затвердевает на ней в виде тонкой стекловидной пленки толщиной 0,1—0,3 мм.

Плотность глазурной суспензии в зависимости от водопоглощения глазуруемого полуфабриката

Показатель	Фарфор	Фаянс твердый	Майолика
Температура первого обжига, °С	900—1000	1230—1280	960—1100
Водопоглощение нормально обожженного черепка, %	16—19	9—12	15—18
Плотность глазурной суспензии, г/см³	1,33—1,40	1,30—1,40	1,25—1,35

С участков изделия, покрытых пылью и загрязненных жиром, глазурь скатывается и вызывает появление плешин, наколов и других дефектов. Чтобы предотвратить появление таких дефектов, поверхность прокаленных изделий перед подглазурной раскраской и глазурованием очищают от пыли кистями, волосяными ручными и механическими щетками и обдувкой сжатым воздухом. При чистке полых изделий положительно зарекомендовали себя комбинированные кисти, насаженные на сопло наконечника, через который сжатый воздух подается при нажиме на пусковой рычаг.

Чистку изделий, обычно сопровождаемую большим пылевыделением, выполняют в специальных кабинах, оборудованных пылеотсасывающей вентиляцией и пылесборниками [2].

Фаянсовые плоские изделия, обладающие по сравнению с фарфоровыми бо́льшей механической прочностью, чистят с помощью жестких двухвалковых вращающихся щеток, пропуская между ними обрабатываемые изделия (тарелки, блюдца).

В выпускаемом фирмой «Сервис» (Англия) полуавтомате для зачистки чашек после первого обжига изделие надевают на патрон, который с помощью карусельного стола, поворачиваясь периодически на 180°, поднимается и прижимает чашку к вращающимся щеткам, обрабатывающим внутреннюю и наружную ее поверхность, дно и ручку. По окончании зачистки патрон опускается и при очередном повороте карусельного стола подает изделие на первоначальную позицию, где его снимают и заменяют новым. Переналадка полуавтомата на обработку чашек другого фасона осуществляется путем перестановки щеток. Производительность полуавтомата — 1800—2100 шт. изделий в час в зависимости от типоразмеров обрабатываемых изделий.

В полуавтоматах других конструкций зачистка и обдувка совмещаются с нанесением клейма на дно изделий и транспортированием их к месту дальнейшей обработки, что обеспечивает существенный экономический эффект. Плоские изделия устанавливают на ленту транспортера на ножки, полые — вверх дном. Изделия, пройдя камеру обеспыливания, в которой посредством вращающихся щеток и сжатого воздуха производится очистка их от пыли, поступают на юстировочное устройство, центрируются и маркируются с помощью резинового штемпеля, автоматически наносящего оттиск клейма на дно плоских изделий снизу, а на дно полых — сверху. После этого изделия транспортируют к месту глазурования. Производительность машин при обработке плоских изделий составляет 1400—1500 шт. в час, при зачистке чашек — 1800—2200 шт. в час.

Участки поверхности, которые должны оставаться неглазурованными (например, ножки, края фарфоровых чашек и кружек, обжигаемых на бомзах и склеенными попарно), покрывают гидрофобной смазкой — машинным маслом, расплавленным парафином и т. п. Для этого изделия устанавливают на пропитанное жировым веществом техническое сукно или тонкий войлок, уложенные на металлический противень.

Из существующих способов нанесения глазури на изделия наибольшее применение получили окунание изделий в жидкую глазурь, обливание потоком глазурной суспензии и нанесение слоя глазури с помощью пульверизатора.

Изделия глазуруют как механизированным (с помощью машин и механизмов), так и ручным способом, который благодаря универсальности не потерял своего значения, особенно при немассовом выпуске изделий.

При ручном глазуровании, когда изделия должны быть покрыты глазурью снаружи и внутри, обычно применяют окунание. В про-

цессе работы, требующей определенных навыков, изделия осторожно погружают в ванну с глазурью так, чтобы глазурный слой получился нужной толщины и на нем было минимальное количество натеков и следов захватов пальцами. После выемки из суспензии изделие встряхивают для удаления капель глазури, подсушивают глазурный слой, зачищают следы пальцев и ставят на ленту конвейера.

Для получения на изделиях равномерного глазурного покрытия заданной толщины необходимо соблюдать следующие условия: 1) систематически контролировать плотность глазурной суспензии ареометром или денсиметром; 2) следить за длительностью пребывания изделия в глазури, не допуская превышения предела, характеризующегося потерей всасывающей способности. В противном случае глазурованная поверхность слишком долго высыхает и не поддается дальнейшей обработке; 3) не допускать оседания и расслоения глазурной суспензии, периодически перемешивая ее и удаляя загрязнения частым ситом (1600 отверстий на 1 см²).

Глазуровочные ванны усовершенствованной конструкции оборудуют ситами, насосами и электронагревателями для очистки, рециркуляции и нагревания глазури.

Глазурование вручную, связанное с необходимостью длительного пребывания рук глазуровщика в жидкой глазури, — вредная операция, особенно при использовании токсичных свинцовых глазурей. Этот недостаток устраняется при глазуровании изделий механизированными способами.

В глазуровочных машинах, применяемых в тонкокерамическом производстве, глазурь наносится на поверхность изделий одним из следующих способов: окунанием в жидкую глазурь, обливанием суспензией и пульверизацией.

Машины первого типа предназначаются для глазурования достаточно водостойких изделий, способных противостоять механическим воздействиям в процессе обработки.

Основными рабочими органами машин этого типа являются вращающиеся захватывающие устройства различной конструкции, с помощью которых обрабатываемые изделия перемещаются в ванне, заполненной глазурной суспензией. Чтобы не было незаглазурованных мест, закрываемая захватывающими устройствами поверхность должна быть минимальной [2, 4, 6].

В полуавтомате для глазурования фарфоровой посуды (тарелок, блюдец) используется колесо *1* с двумя рядами спиц, концы которых выступают над ободом в виде коротких штырей, обтянутых резиновыми трубками (рис. XI.5). Глазуруемые изделия устанавливаются краями на эти штыри и при непрерывном вращении колеса опускаются в ванну *2* с глазурью, скользя по направляющим, а затем подхватываются следующей парой штырей и подаются на транспортерную ленту *3*, являющуюся элементом машины. Эта лента непрерывно промывается, проходя через резервуар *4* с водой. Натеки, образующиеся на внутренней стороне изделий вследствие неполного стекания глазури, сдуваются сжатым воздухом с помощью сопел *5*, установленных при выходе изделий из ванны.

Глазуровочные машины этого типа изготовляют одно- и многорядными. Производительность их зависит от числа колес, количества захватывающих секций колеса и длительности рабочего цикла, которая обычно колеблется от 6 до 10 с. Для однорядной машины с колесами диаметром 800 мм она составляет 2500—3000 шт. блюдец и 1200—1400 шт. тарелок в час.

Аналогичным образом работают машины для глазурования полых фарфоровых изделий (чашек, кружек и т. п.) методом окунания, в частности отечественные машины ПГ-2, установленные в поточных линиях на Барановском и Довбышском фарфоровых заводах [2, 4].

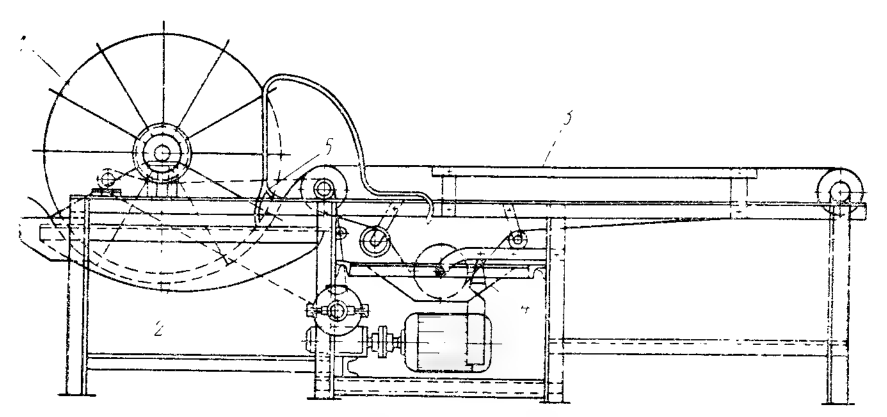


Рис. XI.5. Полуавтомат для глазурования плоской фарфоровой посуды

Иного устройства требуют машины для глазурования фаянсовой плоской посуды, которая, как показал опыт, должна погружаться и выниматься из глазурной суспензии в вертикальном положении во избежание появления натеков.

В машину, сконструированную по этому принципу на Конаковском фаянсовом заводе, изделия загружают в вертикальном положении по 2—3 шт. в кассеты, подвешенные на поводках к бесконечной пластинчатой цепи. При круговом непрерывном движении цепи изделия погружаются в глазурную суспензию и сразу же поднимаются вверх [7]. Производительность машины колеблется от 2000 до 3200 шт. в час в зависимости от размеров глазуруемых изделий.

Принцип действия машин для глазурования методом обливания заключается в том, что конвейерное транспортерное устройство или карусельный стол с установленными на них изделиями проходит через сплошную завесу глазурной суспензии, создаваемую поливающими и фонтанирующими соплами, и изделия со всех сторон покрываются равномерным слоем глазури. Избыток глазурной суспензии стекает в сборный резервуар, откуда постоянно перекачивается центробежным насосом в сопла глазуровочной камеры. Поскольку в процессе обработки изделия не подвергаются механическим воздействиям, машины пригодны для глазурования не только предва-

рительно обожженного, но и высушенного полуфабриката, предназначенного для однократного обжига [4, 6].

Чашки, кружки и другие подобные изделия устанавливают на сетчатые или проволочные держатели карусельного стола или транспортера вверх дном. Скапливающийся на вогнутости донышка избыток глазури сдувается струей сжатого воздуха при выходе изделий из глазуровочной камеры. Для удаления круговых натеков, образующихся в процессе глазурования на покрытых парафином краях чашек, изделия на мгновение автоматически погружают на глубину 3—5 мм в ванну с проточной водой (натеки размываются).

Как показал опыт работы, глазурование сырых тонкостенных чашек методом обливания необходимо осуществлять в две стадии, с выдержкой 12—15 с между нанесением глазури на внутреннюю и наружную поверхность во избежание размокания тонких стенок и особенно краев изделий.

В конвейерной многорядной машине, работающей по этому принципу, увеличивая число рядов, можно достичь высокой заданной производительности [3].

В конструкциях некоторых машин для получения более равномерного глазурного покрытия в процессе обливания изделий глазурью предусмотрено их вращение.

В действующей по такому принципу универсальной глазуровочной машине «Тюрингия» (ГДР) изделия помещаются на сетчатые держатели шпинделей, которые, вращаясь в зоне глазурования, обеспечивают стекание избытка глазури в расходный сборник. Пройдя зону глазурования, шпиндели останавливаются, предотвращая образование капель и натеков. При глазуровании чашек производительность машины составляет 2000 шт. в час, при глазуровании тарелок и блюдец — 1200—1500 шт. в час в зависимости от величины глазуруемых изделий [5].

Машины для глазурования методом пульверизации пригодны для нанесения глазури на изделия с широким диапазоном их пористости и механической прочности. Менее всего они подходят для обработки полой посуды с трудно доступными внутренними полостями (например, для глазурования чайников, кофейников и т. п.).

По конструкции эти машины разделяют на прямоточные и карусельные.

В прямоточных машинах изделия устанавливают на прямолинейный транспортер, на котором они проходят через глазуровочную камеру, а в необходимых случаях и через камеры предварительного подогревания и последующей подсушки.

Карусельные машины представляют собой устройства бóльшего или меньшего диаметра с расположенными по окружности многочисленными шпинделями для размещения изделий. Плоские изделия (тарелки, блюдца) устанавливают на острия развилок, которыми заканчиваются шпиндельные головки. При прохождении через глазуровочную камеру, оборудованную системой неподвижных или подвижных распыляющих форсунок, шпиндели вместе с установленными на них изделиями приводятся во вращение, благодаря чему

достигается равномерность глазурного покрытия. После съема глазурованных изделий шпиндели проходят через моечную камеру, в которой приставшая к ним глазурь смывается с помощью душирующего устройства.

Для глазурования методом пульверизации обычно применяют глазурную суспензию плотностью 1,5—1,8 г/см³, распыляя ее при избыточном давлении 196 кПа (2 ати). Количество форсунок зависит от размеров и формы глазуруемых изделий. Для обработки небольших предметов (например, деталей электроустановочного фарфора) достаточно 2—3 форсунок, для тарелок и чашек — 6—8 шт., для более крупных изделий — 10—12. Расход воздуха на одну форсунку составляет 0,4 м³/мин при давлении 196—294 кПа (2—3 ати).

Воздух, содержащий тонкораспыленную глазурь, вентилятором отсасывается из глазуровочной камеры. Для его очистки применяют различные устройства, позволяющие уловить бóльшую часть глазури.

При глазуровании изделий с плотным спекшимся черепком требуется предварительное нагревание и подсушка после нанесения глазури.

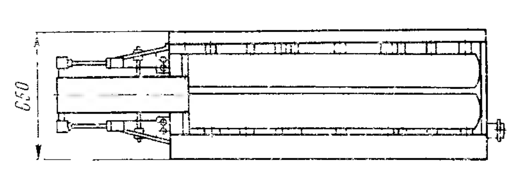


Рис. XI.6. Двухленточная машина для зачистки ножек изделий

Машины, работающие по принципу пульверизации, применяют также для нанесения на изделия разноцветных глазурных покрытий.

После глазурования с ножек и краев изделий счищают глазурь на замывочных машинах, основными рабочими органами которых являются натянутые на два вала бесконечные губчатые резиновые ленты. Нижние ветви лент, проходя через водяную ванну, очищаются от приставшей глазури и при выходе отжимаются с помощью валика для удаления избытка влаги.

В современных замывочных машинах операция удаления глазури с опорной поверхности изделий совмещается с их транспортированием. В одной из таких машин губчатая резиновая лента транспортера, перемещаясь с небольшой скоростью (10—12 м/мин) в горизонтальном направлении, одновременно вибрирует вместе с установленными на ней изделиями. Благодаря боковому смещению изделий относительно ленты, возникающему под воздействием вибрации, слой глазури стирается с ножек при одновременном перемещении изделий к месту их съема.

В машине другого типа, предназначенной для зачистки ножек у тарелок и блюдец (рис. XI.6), две рядом расположенные параллель-

ные губчатые резиновые ленты движутся с различной скоростью. Благодаря тому, что зачищаемые изделия стоят каждой своей половиной на разных лентах, они приводятся во вращательно-поступательное движение, в процессе которого глазурь стирается с ножек, а сами изделия транспортируются для загрузки в обжиг [2, 4].

Производительность замывочных машин зависит от размеров обрабатываемых изделий и скорости движения ленты. Для изделий массового производства (тарелки, блюдца, чашки) она колеблется от 1000 до 2100 шт. в час.

На плешины и плохо заглазурованные участки с помощью волосяной кисти наносят глазурную суспензию. Натеки, наколы, пузыри и подобные им неровности глазурного покрытия зачищают, слегка протирая глазурованную поверхность рукой или войлоком. Одновременно осматривают изделия для обнаружения скрытых трещин, которые становятся хорошо видны на изделии, глазурованном подкрашенной глазурью.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Городов Н. Н.** Влияние методов ставки, геометрических характеристик капселей и размеров печных камер на коэффициент использования печного объема. Труды ГИКИ, 1952, вып. 2—3 (28), с. 35—54.
2. **Городов Н. Н. и др.** Новая техника в производстве фарфора и фаянса. М., «Детский мир», 1958. 288 с.
3. **Булавин И. А.** Оборудование фарфоровых и фаянсовых заводов. М., Гизместпром, 1940. 311 с.
4. **Мороз И. И.** Автоматизация производства фарфоро-фаянсовых изделий. Киев, «Техника», 1965. 259 с.
5. **Bautze H. u. a.** Technologie der Feinkeramik. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1970. 281 S.
6. **Резников Л. Г. и др.** Прогрессивные процессы в производстве тонкой керамики. М., ГосИНТИ, 1961. 108 с.
7. **Городов Н. Н.** Машина для глазурования плоской фаянсовой посуды. Листок изобретателя и рационализатора, № 225. Л., Издание ГИКИ, 1965, с. 2.

ГЛАВА XII

ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ТОНКОЙ КЕРАМИКИ

Для обжига тонкой керамики (фарфора, фаянса, майолики) применяются непрерывно действующие туннельные и конвейерные печи и печи периодического действия разных типов и конструкций [1, 2].

Печи обычно классифицируются по принципу действия, способу нагрева и конструкции печного канала или камеры.

По принципу действия печи подразделяются на непрерывно действующие и с периодическим циклом работы. По способу нагрева различают печи с непосредственным нагревом изделий печными газами, муфельные и с электрообогревом.

По конструкции печи подразделяются на три группы:

1) туннельные — с прямым, кольцевым или п-образным каналами, через которые перемещаются изделия на вагонетках, или кольцевым вращающимся подом;

2) конвейерные — с одним или несколькими каналами малого сечения, по которым изделия перемещаются ленточными, роликовыми шагающими или полочными конвейерами;

3) с круглыми или прямоугольными камерами и с периодической (преимущественно ручной) загрузкой.

Туннельные печи с непосредственным нагревом изделий широко используются, когда непосредственное воздействие печных газов на изделия не может снизить качество продукции.

В зависимости от объема производства и размеров изделий длина печей колеблется от 2—3 м (лабораторный тип) до 100 м и выше, а ширина и высота канала — от 0,2 до 2,5 м.

Муфельные туннельные печи применяются преимущественно для обжига санитарных изделий, облицовочных плиток и майолики, покрытых цветными глазурями, а также для закрепления керамических красок. В этих печах изделия отделяются от печных газов огнеупорными перегородками и нагреваются в основном за счет их излучения.

В печах непосредственного нагрева муфельный обжиг имитируется при загрузке изделий на вагонетки в закрытых шамотных или карборундовых капселях.

Туннельные печи с электронагревом применяются в тех же условиях, что и муфельные печи, но возможность их использования ограничивается высокой стоимостью электроэнергии по сравнению со стоимостью газообразного и жидкого топлива.

Конвейерные печи применяются для обжига малогабаритных тонкостенных изделий, в которых теплообмен, массообмен и связанные с ними диффузионные физико-химические процессы протекают быстро и позволяют резко сократить продолжительность обжига до технологически необходимого минимума.

Конвейеры в керамических печах работают при высоких температурах (800—1200 С) и, как следствие, с небольшой, обычно одноярусной загрузкой в щелевых каналах. Недостаточная емкость таких каналов компенсируется в производстве некоторых изделий (например, глазурованных плиток) снижением в несколько раз продолжительности их обжига.

Для сокращения потерь тепла и лучшего использования площади печного цеха в конвейерных печах устраивают по 12 и больше каналов в одном блоке. Существенная экономия энергии при электрообжиге в многоканальных печах достигается применением встречных потоков полуфабриката.

Особую группу составляют высокотемпературные электропечи непрерывного действия, применяемые преимущественно в исследовательских организациях. Отличительной их особенностью является малое сечение муфельного канала, составленного из корундовых труб, а также использование нагревателей в виде молибде-

новой или вольфрамовой проволоки, намотанной на эти трубы. Нагреватели работают в защитной среде (водород, аммиак).

Печи периодического действия — двухэтажные круглые горны — в настоящее время еще используются в производстве хозяйственного фарфора, но постепенно заменяются туннельными печами. Печи периодического действия разных конструкций применяются в опытных производствах или при выпуске мелкосерийной продукции, когда часто изменяется ассортимент изделий и режимы обжига.

Печи с выкатным подом, загружаемым и разгружаемым вне печного пространства, применяются для обжига небольших партий крупногабаритных изоляторов и керамических ванн.

Небольшие печи периодического действия — силитовые, пламенные, вакуумные и с защитной средой — широко используются в исследовательских институтах, заводских лабораториях и экспериментальных производствах.

1. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТУННЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

Первый патент на туннельную печь был заявлен в 1840 г. Р. А. Иордом. В 1853 г. была построена первая туннельная печь. Конструкции туннельных печей непрерывно совершенствовались, и в настоящее время они являются основными установками для обжига керамики разного назначения [3, 2, 4].

В производстве тонкой керамики использование этого типа печей началось с постройки французской фирмой «Фужерон» туннельной печи с топками, расположенными с обеих сторон зоны обжига.

В 1906 г. фирма «Тильш» построила в Германии две туннельные печи длиной 40 и 60 м по типу печей фирмы «Фужерон» для обжига фарфоровой посуды.

В России первые туннельные печи были построены в 1911 г. на фарфоро-фаянсовых фабриках Кузнецова (две печи на Тверской фабрике и одна — на Будянской) и на Хмелевском фарфоровом заводе (одна печь).

Основными частями наиболее распространенных туннельных печей непосредственного нагрева являются: печной канал, устройства для нагрева и охлаждения изделий и циркуляции печных газов, а также механизмы для перемещения в печном канале вагонеток с загруженными на них изделиями и приборы для контроля и регулирования обжига. Туннельные печи работают по принципу противотока: вагонетки с обжигаемой продукцией постепенно передвигаются через канал печи навстречу потоку сначала обогревающих, а потом охлаждающих печных газов. Поэтому режим обжига в туннельных печах определяется как составом и температурой печных газов, так и скоростью движения газов и вагонеток. В туннельной печи различают три зоны: зону подогрева, зону высоких температур (топочную) и зону охлаждения. Туннельные печи нашли широкое применение в керамической промышленности. От печей периодического действия они отличаются непрерывностью процесса обжига и при этом удачно сочетаются с современными непрерывно-

поточными методами выполнения смежных технологических процессов; благоприятными условиями загрузки и разгрузки изделий, выполняемых на вагонетках в нормальных температурных условиях вне печной камеры; удобством и надежностью регулирования режима обжига путем перемещения изделий по заданному графику через зоны печи со стабилизированными температурными и газовыми условиями теплообработки.

От непрерывно действующих конвейерных печей разных типов туннельные печи отличаются надежностью работы вагонеток для транспортирования изделий через печной канал при высоких температурах обжига. Вагонетки ремонтируют вне печи на запасном пути. Печи могут работать без остановки на ремонт свыше 10 лет. В отличие от конвейерных печей они имеют в несколько раз бóльшую емкость печного канала и при прочих равных условиях более высокую мощность. Обжиг изделий в туннельных печах облегчает применение механизированных и автоматизированных поточных линий в предшествующих и последующих процессах при односменной и двухсменной работе цехов. Запас изделий, подготовляемых к обжигу в первую смену, накапливается на вагонетках туннельной печи без дополнительных затрат труда. Выданные из печи во вторую и третью смены изделия обрабатываются на механизированных линиях в течение одной или двух смен. При использовании туннельных печей удобно и экономично без дополнительного оборудования сочетается эффективная трехсменная работа печей с одно- или двухсменной работой остальных цехов завода. При обжиге в конвейерных печах приходится считаться с необходимостью нежелательной трехсменной работы по всем переделам либо конструировать специальные механизированные запасники у входа и выхода конвейера из печи. Устройство запасников над конвейерными печами повышает коэффициент использования площади печного цеха. Оборудование запасников автоматами для загрузки в них изделий, а также для непрерывного питания конвейерных печей из запасников и их разгрузки дало бы существенную экономию рабочей силы.

При отмеченных выше достоинствах туннельные печи в большинстве имеют существенный недостаток: в зонах подогрева и охлаждения наблюдается расслоение ламинарных потоков печных газов и как следствие — большая разница температур между верхней и нижней частями загрузки изделий на вагонетках. В зоне обжига и у выхода изделий из печи температуры в садке изделий выравниваются, но это достигается резким удлинением цикла обжига и снижением производительности печей. Известны надежные, проверенные на практике способы устранения больших перепадов температур между верхней и нижней частями канала. Реконструкция зон подогрева и охлаждения в действующих печах, хотя бы во время их капитальных ремонтов, дает возможность увеличить производительность печей в производстве тонкостенных изделий ориентировочно на 40—80% в зависимости от состава используемых керамических масс и кинетики протекающих при их обжиге физико-химических процессов. Использование более эффективных материалов для тепло-

изоляции стен печи и пода вагонеток, устранение подвагонеточных каналов и облегчение конструкции печи в целом также будут способствовать повышению их производительности и снижению капитальных затрат.

В керамической промышленности разработаны разнообразные методы загрузки изделий на вагонетках и усовершенствованные схемы циркуляции печных газов, при использовании которых туннельные печи стали наиболее распространенными тепловыми установками для обжига любых керамических изделий [5]. В зависимости от продолжительности цикла обжига и заданной производительности длина этих печей колеблется от 3 до 100 м и более, а сечение

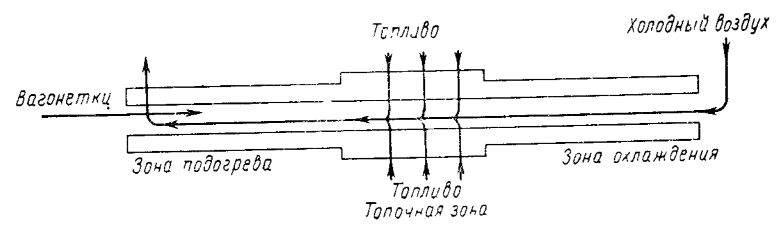


Рис. XII.1. Схема движения газов в туннельной печи с использованием горячего воздуха на сжигание топлива

канала от 0,25 до 9 м². Туннельные печи используются для обжига мелких изделий (радиокерамика, хозяйственный фарфор, загружаемый в капселях и на этажерках) и крупногабаритных изделий (например, электрофарфора высотой до 2,5 м). При большом разнообразии туннельных печей имеется всего несколько типичных схем движения печных газов. Наиболее простая схема движения газов с использованием горячего воздуха на сжигание топлива показана на рис. XII.1.

Воздух, нагретый при охлаждении изделий в зоне охлаждения, поступает в зону обжига, где частично используется на сжигание топлива, а затем, смешавшись с топочными газами, подается в зону подогрева. Проходя через зазоры в загрузке вагонеток, топочные газы постепенно нагревают изделия и через каналы, расположенные у входной части туннеля, удаляются в атмосферу. Обжиг изделий в окислительной среде при температуре 800—1200° С целесообразно проводить в туннельных печах, приспособленных к максимальному использованию тепла горячего воздуха из зоны охлаждения в зонах подогрева и обжига, если по условиям производства не удается это тепло полностью использовать для сушки полуфабриката. В этой связи разработка совмещенных тепловых балансов печных и формовочно-сушильных цехов и выбор конструкции печей и сушилок производится с расчетом на минимальные потери тепла с уходящими дымовыми газами и горячим воздухом и на бережливое отношение к расходу топлива и электроэнергии.

В печах, работающих с восстановительной средой или при температурах выше 1200° С, воздух, подаваемый для быстрого охлаждения изделий, не может быть полностью использован на горение

топлива. Поэтому на керамических заводах предусматривается отбор горячего воздуха из зоны охлаждения для обогрева сушилок, помещений и для досушки изделий на первых вагонетках (рис. XII.2), что достигается путем подачи воздуха мимо зоны обжига в зону подогрева.

Горячий воздух в зоне подогрева используют в тех случаях, когда подсушка влажных изделий отработанными газами привела бы к конденсации влаги на холодных изделиях. Кроме того, этот метод позволяет утилизировать тепло избыточного горячего воздуха в самой печи и обеспечивает получение в начале зоны подогрева окислительной атмосферы.

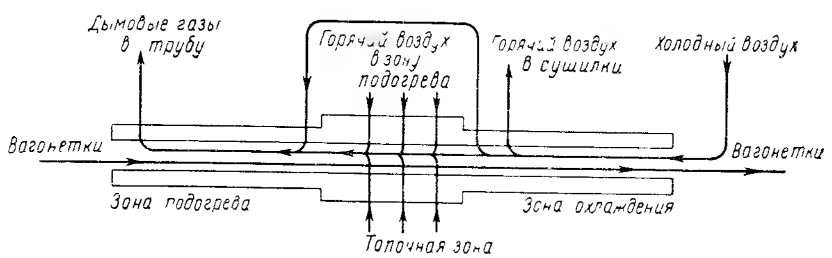


Рис. XII.2. Схема движения газов при использовании горячего воздуха для сушки

Скорость нагрева изделий в зоне подогрева зависит от температуры, количества и скорости движения печных газов в канале, от плотности загрузки вагонеток и других условий передачи тепла от горячих газов к обогреваемым изделиям. В зависимости от этих взаимно между собой связанных факторов при рассредоточенном отборе печных газов у входной части туннеля достигается заданная температура нагреваемых изделий. Кривая нагрева, получаемая при сосредоточенном отборе газов в отдельных участках, не соответствует заданному оптимальному режиму обжига.

Охлаждение изделий встречным потоком холодного воздуха протекает по кривой, которая также часто не соответствует оптимальной кривой быстрого и безопасного охлаждения.

Скорость нагрева возрастает при температуре выше 500—600° С, когда повышается теплоотдача излучением, и вновь уменьшается при достижении предельных температур обжига, при которых разница между температурами топочных газов и нагреваемых изделий уменьшается и вместе с ней ухудшается теплопередача.

Охлаждение изделий также проходит наиболее интенсивно на участке с температурой выше 500° С, где происходит быстрая отдача тепла лучеиспусканием. Кривая нагрева и охлаждения зависит от потока газов, протекающих по всем сечениям канала, имеет крутые подъем и падение на участках высоких температур и более пологое направление в начале зоны подогрева и в конце зоны охлаждения, где преобладает конвективный теплообмен.

Подъем температурной кривой в зоне обжига легко регулируют соответственным размещением топок (горелок) и характером работы

последних — большей или меньшей форсировкой. Регулирование подъема температур в зоне подогрева и снижения — в зоне охлаждения в соответствии с особенностями обжига тех или иных изделий обеспечивается предусмотренной в современных печах системой

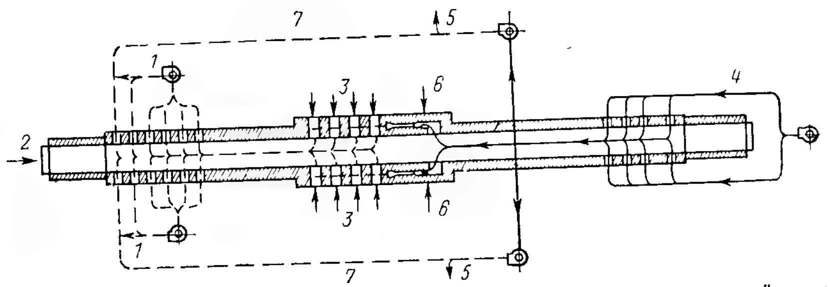


Рис. XII.3. Схема движения газов в туннельной печи с рассредоточенной подачей и отбором газов:

1 — отбор дымовых газов; *2* — подача вагонеток с изделиями; *3* — подача топлива; *4* — подача воздуха для охлаждения изделий; *5* — отбор горячего воздуха для сушилок; *6* — сжатый воздух, поступающий в эжекторы для последующей подачи горячего воздуха в топки; *7* — горячий воздух для зоны подогрева

рассредоточенной подачи газов и рассредоточенного их отбора в разных участках зоны подогрева и зоны охлаждения (рис. XII.3). Если требуется повысить температуру в зоне подогрева или расширить зону высоких температур, достаточно при постройке печи поставить дополнительные горелки в конце зоны подогрева.

Иногда необходимо задержать повышение температуры в начальной или средней части зоны подогрева, например, при обжиге круп-

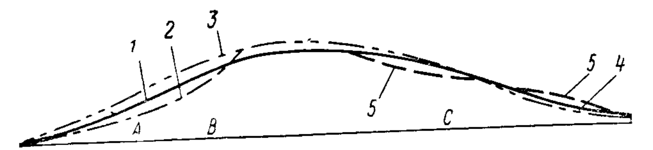


Рис. XII.4. Схема регулирования кривой обжига в туннельной печи

ных изоляторов, требующих постепенного и осторожного удаления гигроскопической и гидратной воды. В этом случае замедленный нагрев можно получить путем уменьшения теплового потока. Для этого осуществляется предварительный (промежуточный) отбор части горячих газов перед участком, где требуется замедлить повышение температуры.

На рис. XII.4 рядом с кривой повышения температур *1*, получающейся при короткой зоне обжига и отборе отработанных газов у входной части туннеля, показана пунктирная кривая *2* с пологим подъемом температуры в зоне *A* вследствие промежуточного отбора части дымовых газов в точке *B* и с более крутым подъемом в конце зоны подогрева. Благодаря устройству дополнительных топок и подаче горячих газов в среднюю часть зоны подогрева можно полу-

чить более ровное повышение температуры кривой *3* на протяжении всего периода обжига.

Для изменения кривой охлаждения изделий встречным потоком воздуха применяются дополнительная подача воздуха в разных точках зоны охлаждения и промежуточный отбор части воздуха, охлаждающего вагонетки.

При отборе части воздуха в точке *C* уменьшается его поступление на охлаждение расположенных дальше более горячих вагонеток — кривая температур между зоной обжига и точкой *C* поднимается. Увеличивая отбор воздуха в точке *C*, можно получить больший объем воздуха и более резкое остывание вагонеток в выходной части туннеля, начиная от места промежуточного отбора воздуха *4*.

Наоборот, при подаче в точке *C* дополнительного холодного воздуха получается большая скорость охлаждения на участке высоких температур и медленное охлаждение в части зоны охлаждения между точкой *C* и концом туннеля *5*. Комбинируя размещение точек подвода холодного воздуха в зону охлаждения и отбора подогретого, а также количество и скорость воздуха, можно получить различные режимы охлаждения в соответствии с технологическими требованиями.

Крупным недостатком в работе туннельных печей является существенная разница в температуре верхних и нижних слоев газов в ламинарном потоке, перемещающихся в печном канале. В зоне подогрева эта разность температур усугубляется засосом холодного воздуха через неплотности в стыках вагонетки и песочных затворов. При господствующем в зоне подогрева разрежении обычно не удается устранить поступление воздуха из подвагонеточного пространства в печной канал, из-за чего в нижней его части температура газов резко снижается. Перепад температур между верхними и нижними слоями газов при высоте канала 1,5–2 м достигает на некоторых участках зоны подогрева 200—300° С, а избыток воздуха в дымовых газах — до 2—3 объемов по сравнению с его теоретическим расходом.

Получение наиболее равномерного нагрева и охлаждения изделий во всех сечениях вагонетки с точным выполнением заданного режима температур и газовой среды является одной из основных задач конструирования туннельных печей.

Горизонтальный поток газов наиболее эффективно перемешивается вентиляторами из жароупорной стали, которые устанавливаются в нишах стен и обеспечивают интенсивную круговую циркуляцию газов в поперечном направлении.

Вдувание газов через щели в своде и стенах печи в виде так называемых газовых завес также способствует снижению разности температур в верхней и нижней части печного канала. Вместе с тем использованием газовых завес достигается более четкое разграничение отдельных участков, работающих с разными режимами температуры, давления и с разным составом газовой среды. Так, например, при давлении топочных газов в зоне обжига и разрежении в расположенном рядом с ней участке отбора горячего воздуха для сушилок

возможно примешивание к нему продуктов сжигания топлива. Подача горячего воздуха через свод между зонами обжига и охлаждения под давлением, превышающим давление газов у топок, исключает попадание топочных газов в сушилки и связанное с этим ухудшение условий труда в сушильном цехе.

Завесы из горячего воздуха и пара используются для более четкого разграничения окислительной и восстановительной зоны и регулирования режима обжига изоляторного фарфора в современных туннельных печах.

Изложенное выше показывает, что туннельная печь имеет весьма широкие возможности для регулирования температурной кривой обжига и охлаждения и состава газовой среды в соответствии с заданием [6]. Необходимо, однако, отметить, что чем сложнее принципиальная схема и конструкция печи, тем труднее ее регулирование и обслуживание. Поэтому сложные конструкции туннельных печей применяются, как правило, лишь для обжига продукции, требующей весьма строгого режима обжига, не выполнимого более простыми способами. Ряд мероприятий, осуществляемых в сложных печах, например промежуточный отбор отработанных газов в зоне подогрева и горячего воздуха в зоне охлаждения, понижают коэффициент использования топлива в пределах самой туннельной печи и потому не всегда выгодны, так как улучшение режима обжига получается за счет некоторого снижения коэффициента полезного действия установки.

Установление в производственных условиях нормального режима давления в разных пунктах туннеля, построенного по сложной схеме, представляет трудную задачу, решение которой требует высокой квалификации технического персонала как в период проектирования, постройки и пуска, так и во время эксплуатации.

Этими обстоятельствами и недостатком опыта в области проектирования и эксплуатации туннельных печей, которые работают на обжиге изделий, требующих четких режимов, объясняется живучесть в некоторых производствах печей периодического действия, весьма неэкономичных в отношении расхода топлива и содержания обслуживающего персонала. Эти печи пока еще продолжают работать на некоторых вполне современно оборудованных керамических заводах. Однако туннельные печи наиболее совершенных конструкций в силу своих производственно-экономических преимуществ успешно вытесняют на крупных заводах печи других типов.

По способу нагревания обжигаемых изделий различают туннельные печи непосредственного (прямого) нагрева, муфельные и с электронагревом. В печах прямого действия топочные газы непосредственно омывают изделия в отличие от муфельных, в которых тепло топочных газов передается изделиям через стенки муфельных каналов.

В производстве хозяйственного фарфора и фаянса, когда изделия обжигаются в капселях (огнеупорных контейнерах), условия теплопередачи и воздействия газовой среды приближаются

к условиям обжига в муфельных печах. В электропечах обжиг производится, как и в муфельных, в окислительной среде и в основном за счет передачи тепла излучением.

2. ТУННЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ОБЖИГА ФАЯНСА И НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАРФОРА

При обжиге хозяйственного фаянса, санитарных изделий, глазурованных плиток, майолики и низкотемпературного фарфора для столовых и ресторанов применяются туннельные печи разных конструкций. Общей особенностью для этих печей является относительно невысокая температура обжига (1000—1250° С), выполняемого в окислительной среде. Обжиг майолики, плиток и санитарных изделий, покрытых цветными глазурями, в восстановительной среде приводит к изменению цвета глазури и керамических красок, появлению тусклых, серых оттенков и других дефектов. Посуда из низкотемпературного фарфора и полуфарфора не нуждается в сложном восстановительном процессе и потому ее обжигают в окислительной среде туннельных печей простой конструкции.

Целесообразность использования окислительной среды при обжиге этой посуды подтверждается практикой применения муфельных печей в производстве санитарного фарфора (США), а также обжига столовой фарфоровой посуды в электропечах, в которых омывающие изделия газы не содержат окиси углерода и водорода.

В современных туннельных печах этой группы окислительная среда обеспечивается использованием топочных устройств для полного сжигания топлива, чем устраняется воздействие водорода и окиси углерода на спекаемую керамику. Окислительная среда обжига предопределяет некоторую универсальность печей этой группы и широкое их использование для обжига изделий в капселях (где имитируется муфельный обжиг), в открытых кассетах и на вагонеточных этажерках для бескапсельного обжига. Поэтому туннельные печи, спроектированные для обжига глазурованных облицовочных плиток, могут использоваться для обжига хозяйственного фаянса или майолики. В современных туннельных печах вполне обеспечивается регулирование температурного режима при переходе на обжиг других изделий или на другой состав массы и глазури.

Невысокие температуры первого и второго обжига фаянса или майолики в окислительной газовой среде послужили причиной постройки туннельных печей конструкции Фужерона в первую очередь для производства хозяйственного фаянса на заводе имени Калинина в Конакове и на Будянском заводе (под Харьковом).

Вначале все три печи имели одинаковую конструкцию [2], а затем вместе с позже построенными печами реконструированы для обжига глазурованного хозяйственного фаянса на жидком и газообразном топливе.

За последние 25 лет построено много туннельных печей непосредственного нагрева для первого и второго обжига хозяйственного фарфора и фаянса, глазурованных плиток, а также для однократного обжига фаянсовых, полуфарфоровых и фарфоровых санитарных изделий.

Приводим описание типичных туннельных печей, которые предназначены для обжига низкотемпературного фарфора разных видов, полуфарфора и фаянса.

Туннельная печь 94×1,3×1,72 м для первого и второго хозяйственного фаянса. Печь, предназначенная для первого (бисквитного) обжига хозяйственного фаянса при температуре 1280° С и второго обжига (глазурованных изделий) при температуре около 1150° С в зависимости от состава глазури, работает на заводе имени Калинина в Конакове.

По конструкции и возможностям регулирования режима обжига эта печь может быть использована и для обжига посуды из низкотемпературного фарфора в окислительной среде. Намеченное по проекту использование печи для первого обжига фарфора при температуре около 900° С нецелесообразно, так как при низкой температуре нагрева в данном случае можно применить туннельные печи несложной конструкции с малым расходом дорогих огнеупоров или конвейерные печи, освоенные на фарфоровых заводах.

Печной канал длиной 94 м, шириной 1,3 м и высотой до замка свода 1,72 м вмещает 50 вагонеток с длиной рамы 1,85 м и шириной футеровки 1,4 м.

В зоне подогрева находятся 15 вагонеток, в топочной зоне 9, в зоне охлаждения — 26.

В зоне подогрева все процессы протекают в окислительной среде, чем и обусловлена относительно несложная ее конструкция. Вместо шлюзовых затворов подсос воздуха из цеха через садку вагонеток предотвращается подачей горячего воздуха из зоны охлаждения через гидравлическую завесу *1* (рис. XII.5), расположенную на стыке первой и второй вагонеток. Давление воздуха, поступающего из завесы в загрузочный конец туннеля немного превышает атмосферное и потому незначительная его часть выдувается в цех, а остальная удаляется через окна *2* в атмосферу вместе с дымовыми газами. Количество подаваемого через завесу воздуха регулируется шибером *3*. Воздух по ширине туннеля распределяется из камеры *5* через решетчатый свод *6*.

Вторая воздушная завеса *4* перемешивает верхние потоки дымовых газов с нижними и таким образом снижает разность температур нагрева обжигаемых изделий между верхними и нижними ярусами. Температура воздуха, подаваемого в завесы *1* и *5*, регулируется в соответствии с температурной кривой обжига. Для регулирования температуры в начале зоны подогрева предусмотрен рассредоточенный (промежуточный) отбор дымовых газов через окна *2* на позициях 3—8. Промежуточный отбор дает возможность регулировать температуру нагрева изделий в этой части зоны подогрева. Подача газов из верхнего потока в менее нагретую нижнюю часть садки

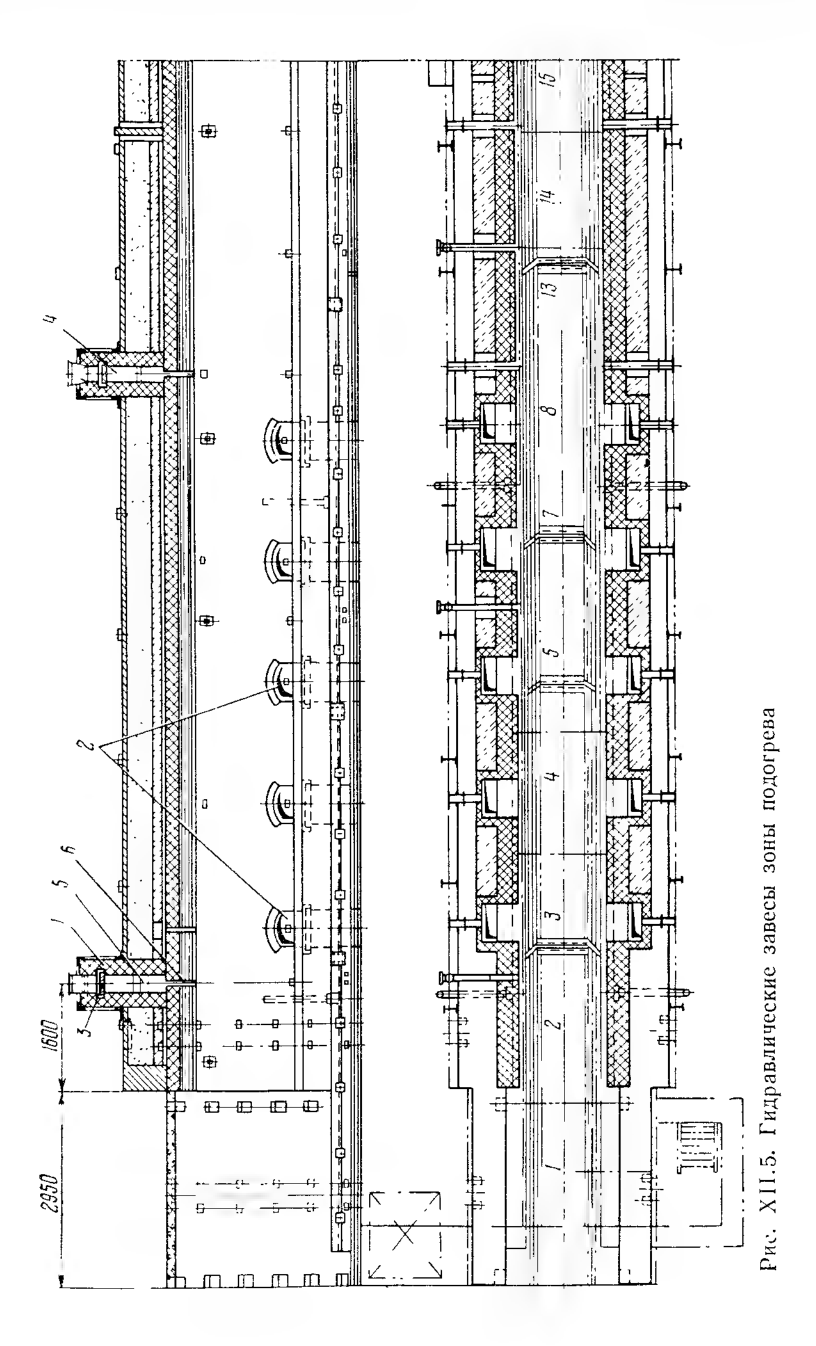


Рис. XII.5. Гидравлические завесы зоны подогрева

вагонеток в известной мере снижает разность температур по сечению садки изделий на позициях 3—8. Отбор дымовых газов регулируется шиберами *1* (рис. XII.6) в каналах *2*, связанных через подземный дымоход с вентилятором. В современных туннельных печах нет подвагонеточного канала, резко увеличивающего стоимость и сроки их сооружения. В этих конструкциях каналы *2* выходят вверх и над сводом объединяются в металлический коллектор, связанный с вентилятором.

Зона обжига оборудована девятью щелевыми топками *1* (рис. XII.7), нагревающими изделия на позициях 16—24 примерно от 1000° С до конечной температуры обжига. Топки размещены в кладке стен туннеля против средней части садки изделий. Длина камеры щелевой топки около 1 м, ширина 470 мм, высота до замка свода около 240 мм. В конце зоны обжига против стыков вагонеток устроены три пары межсадочных топок *2* на середине высоты садки изделий. Устройство топочной зоны показано на рис. XII.8. Стены выложены из шамотного кирпича I сорта класса Б и футерованы динасом I сорта. Свод выложен также из динаса и покрыт изоляцией из шамотного легковеса и диатомитовой засыпки.

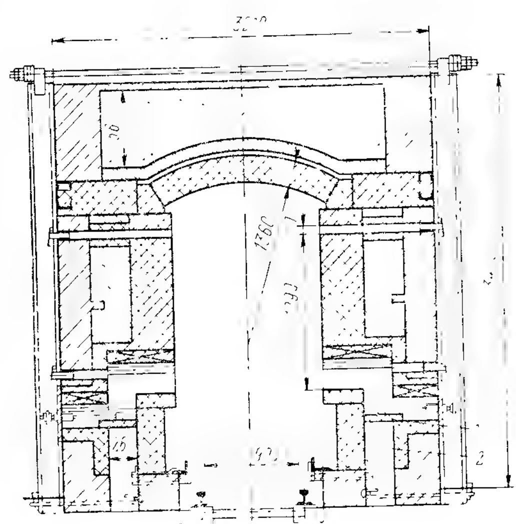


Рис. XII.6. Регулирование отбора дымовых газов

Все топки оборудованы горелками, в которых сжигание природного газа можно регулировать в широких пределах в соответствии с заданным режимом обжига.

В зоне охлаждения подача холодного воздуха сосредоточена у выхода изделий из туннеля через короб *1* (рис. XII.9) и вылеты *2*, *3* под свод печи и в канализированный под вагонеток. Горячий воздух отсасывается двумя вентиляторами. Одним вентилятором воздух отбирается через щель *4* в своде, стояк *5* и трубу *6*.

Отбор вторым вентилятором более горячего воздуха рассредоточен и осуществляется через окна *7* в стенах туннеля, вертикальные каналы *8* и горизонтальные коллекторы *9*. Коллекторы выводят горячий воздух в стояк *10*, из которого он отбирается через трубу *11*. Количество горячего воздуха, отбираемого из каждого окна *7*, регулируется шиберами *1* (рис. XII.10) в соответствии с оптимальной для изделий заданного ассортимента кривой их охлаждения.

Над сводом печи имеется надстройка для присоединения боковых коллекторов *2* к трубе *3*.

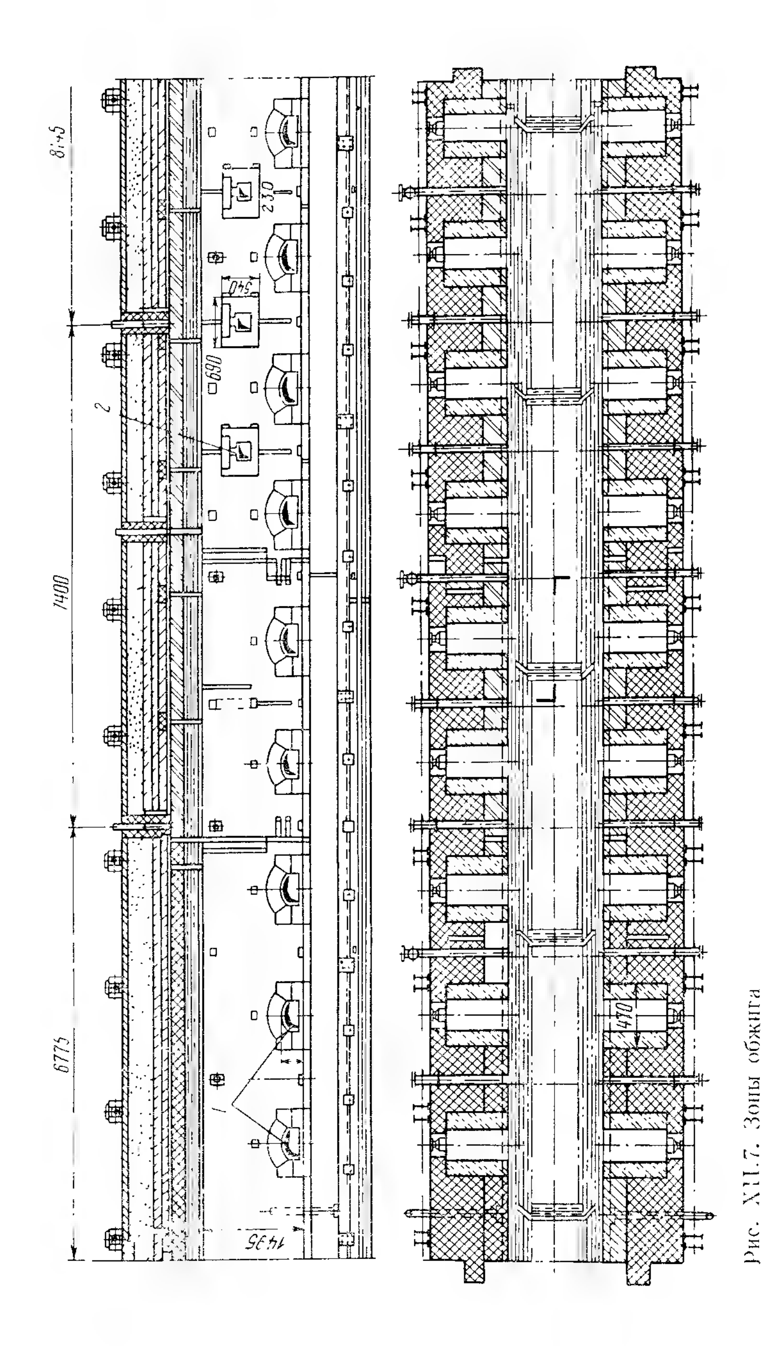


Рис. XII.7. Зоны обжига

Отбор горячего воздуха из нижней части печного канала не согласуется с выводами гидравлической теории Грум-Гросимайло, так как под сводом остается застойный участок горячего воздуха. Удовлетворительное охлаждение в этой печи, как и во многих других туннельных печах, достигается благодаря большой длины зоны охлаждения (около 50% общей длины печи). Очевидно, при реконструкции печей подобного типа в целях интенсификации и сокращения продолжительности обжига целесообразно изменить схему циркуляции воздуха в зоне охлаждения и конструкцию этой зоны.

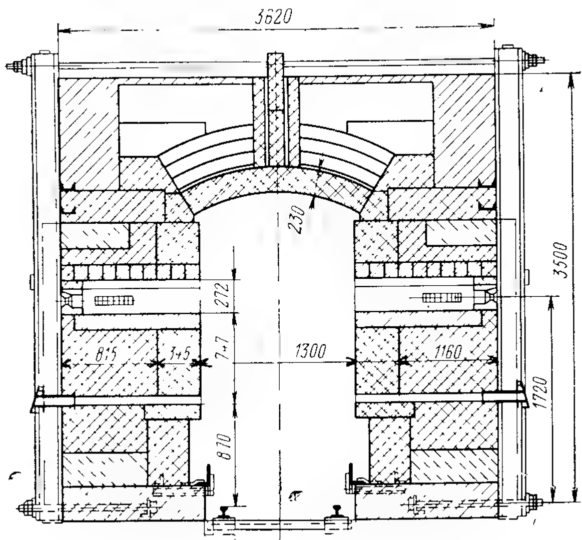


Рис. XII.8. Топка для обжига природным газом

Техническая характеристика печи приведена в табл. XII.1.

Туннельная печь 104×1,6×1,25 м. Туннельная печь работает с открытым пламенем и предназначена преимущественно для первого обжига фаянсовых плиток на огнеупорных этажерках или в капселях. Печь оборудована мазутными топками и поэтому обжиг глазурованных плиток или других изделий производится в капселях.

В печной канал вмещается 49 вагонеток: в зоне подогрева — 18, в зоне обжига — 9, в зоне охлаждения — 22. Длина вагонетки 2120 мм.

Подъем температуры от 80 до 600° С предусмотрен в зоне подогрева на позициях *1—13*, а в дальнейшем до конечной температуры обжига (не выше 1250° С) и выдержка при этой температуре в топочной зоне на позициях 14—27.

На позициях 25—27 возможно охлаждение, регулируемое с помощью топок. Однако эти позиции можно использовать и для удлинения зоны обжига при увеличении производительности печи.

Топочная зона оборудована 36 мазутными щелевыми топками (рис. XII.11) *1*, по две пары на каждую вагонетку, и четырьмя топками *2* на позициях 14—16.

Таблица XII.1

Техническая характеристика туннельных печей для обжига фаянса, майолики, низкотемпературного фарфора (по проектам)

Показатель	Печь для первого и второго обжига хозяйственного фаянса	Печь для первого обжига фаянсовых плиток в капселях	Печь для однократного бескапсельного обжига санитарного фарфора (одноярусная садка)
Длина печного канала, м	94	104,5	110,5
Ширина » » м	1,3	1,6	1,65
Высота от футеровки вагонетки до замка свода, м	1,72	1,25	1,3
Высота подставок под садку (канализированный под), м	0,34	—	0,42
Длина рамы вагонетки, м	1,85	2,2	—
Ширина футеровки, м	1,4	1,5	—
Количество вагонеток в канале, шт.	50	49	55
Максимальная температура первого обжига, °С	1280	1250	1280
Количество изделий на вагонетке по ассортименту фаянсового завода имени Калинина, шт.:			
при первом обжиге	1670	—	—
» втором »	1010	—	—
Масса этажерки на вагонетке при первом обжиге, кг	1078	—	—
Масса подставок на вагонетке при первом обжиге, кг	347	—	—
Производительность при первом обжиге:			
вагонеток в сутки, шт.	35	26	72
суммарная загрузка, кг/ч	2880	—	—
Выпуск изделий в год, шт. или м² (по плиткам)	20 600 000	1 400 000	474 000
Производительность при втором обжиге:			
вагонеток в сутки, шт.	70	—	—
суммарная загрузка, кг/ч	3855	—	—
Расход природного газа при первом обжиге, м³/ч	217	—	305
Расход природного газа при втором обжиге, м³/ч	256	—	—
Расход топлива на 1 кг изделий при первом или втором обжиге, кг	Около 0,36	—	Около 0,52 *
Расход на 1 кг всей загрузки (изделия, этажерки, подставки канализированного пода) при первом и втором обжиге, кг	Около 0,09	—	—
Тепло воздуха, подаваемого в сушилки, ккал/ч	450 000	760 300	400 000
Выделение тепла печью в цех, ккал/ч	600 000	290 000	550 000
Установочная мощность постоянно работающих электродвигателей, кВт	67,5	47	—

* При однократном обжиге санитарных изделий.

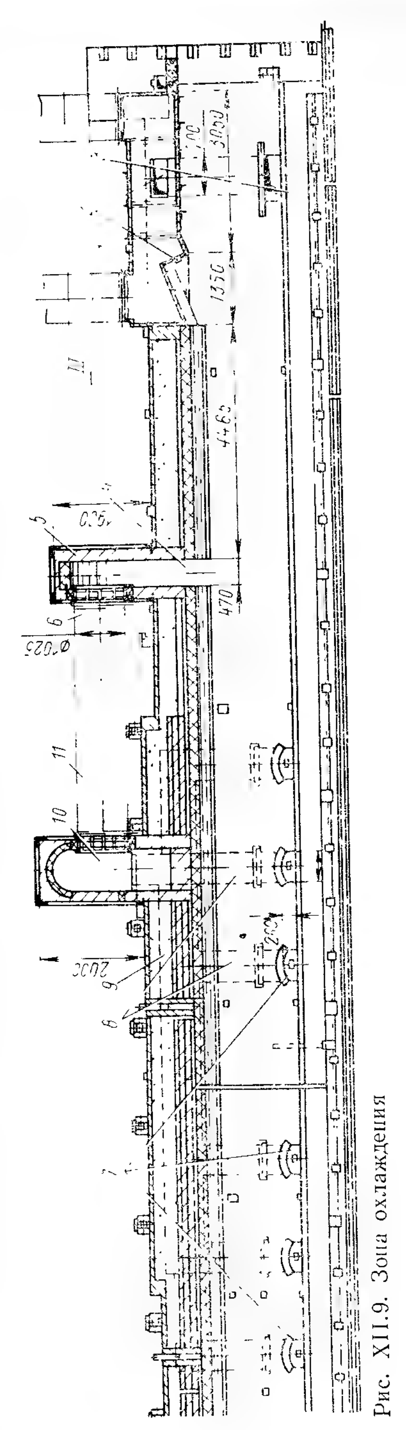


Рис. XII.9. Зона охлаждения

Щелевые топки подают продукты горения в пролеты канализированного пода вагонеток, а топки *2* — в нижнюю часть садки. Мазут подается в форсунки ФОБ-2 по кольцевому мазутопроводу *3*, а воздух — по воздухопроводу *4*.

Топочные газы проходят через просветы в садке вагонеток и направляются в зону подогрева, а затем отбираются через окна *5* в стенах туннеля в каналы *6* и выбрасываются вентилятором *7* в атмосферу.

Для снижения разницы температуры нагрева по высоте садки оборудованы газовые завесы *8*. Горячий воздух подается в завесы из зоны охлаждения изделий по воздухопроводу *9*, его разветвлениям *10* через щели *11* в своде туннеля. Вертикальные потоки горячего воздуха перемешивают верхние и нижние слои топочных газов и способствуют снижению разницы температур в верхней и нижней частях садки вагонеток.

В этой печи нет входной камеры (шлюза) с поочередно открывающимися дверями, применяемой во многих печах для устранения подсоса воздуха в печной канал из атмосферы. Подсос холодного воздуха предотвращается подачей горячего воздуха из воздухопровода *9* в садку первой и второй вагонеток через рассредоточенные вылеты *12*. Давление воздуха на первой позиции регулируют шибером и поддерживают близким к атмосферному. Благодаря использованию горячего воздуха нагрев изделий начинается с первой позиции. Отбор дымовых газов на всех позициях регулируют шиберами, что вместе с регулированием питания форсунок в зависимости от технологических требований позволяет изменять кривую обжига в широких пределах.

Обожженные плитки на позициях 28—49 охлаждаются холодным воздухом, подающимся в садку изделий и в каналы трех рекуператоров.

Вентилятором *13* на позициях 47 и 48 воздух нагнетается в две пары камер *14*, расположенных в кладке печи, и в металлический короб *15*, установленный в конце рабочего канала, который под сводом имеет щель для подачи воздуха в подсводовое пространство.

Поток воздуха охлаждает изделия на встречном поезде вагонеток, нагревается и на позициях 46—33 отбирается через ряд небольших отверстий в кладке стен печи.

Эти отверстия сообщаются с нижними горизонтальными каналами *16* муфельных секций (рекуператоров) *17*.

Рекуператор состоит из трех пар секций каналов, выложенных в стенах, и канала над сводом. Секции работают под разрежением. Воздух в каналы засасывается через щели в кладке, размещенные на обоих концах каждого из каналов. В середине каждого канала вмонтирован патрубок для отбора нагретого воздуха. Количество отбираемого воздуха регулируют шиберами.

Рис. XII.10. Регулирование отбора горячего воздуха

Горячий воздух поступает к вентилятору *18* и после разбавления холодным до необходимой температуры нагнетается по воздухопроводу *9* в систему аэродинамических завес *8*, *11*, *19* зон подогрева и охлаждения.

Печь выложена из строительного и шамотного огнеупорного кирпича, легковесного шамотного и диатомового кирпича. Свод печи выполнен из огнеупорного шамотного кирпича, а в зоне высоких температур с 19 по 28 позицию — из высокоглиноземистого кирпича.

Футеровка и своды топок выполнены из динаса.

В качестве теплоизоляции свода используют легковесный шамотный кирпич и диатомовую засыпку.

В конструкции печи, спроектированной для обжига плиток на Целиноградском керамическом комбинате, имеются конструктивные узлы, не встречающиеся в ранее описанных туннельных печах.

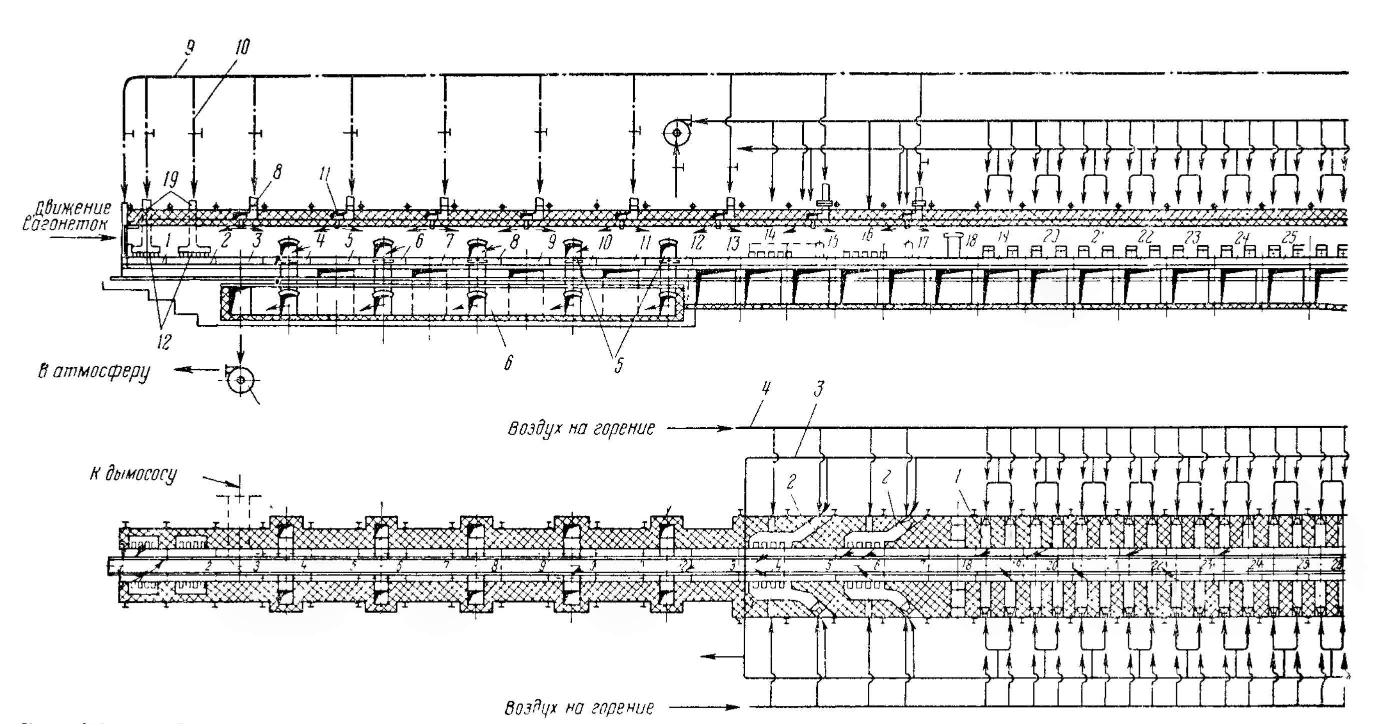


Рис. XII.11. Схема движения газовых потоков в печи 10,4×1,6×1,25 м для обжига фаянсовых плиток

Рис. XII.11. (Окончание). Схема движения газовых потоков в печи 10,4×1,6×1,25 м для обжига фаянсовых плиток

К ним относится конструкция вспомогательных топок с распределенным вылетом пламени. В этих топках форсунки установлены под углом 45° к оси печи и подают пламя в канал *1* (рис. XII.12), имеющий изогнутую форму и пять вылетов *2* в печной канал на уровне канализированного пода вагонеток. Для контроля работы форсунки имеется смотровое окошко *3*. Две таких топки расположены в конце зоны подогрева для повышения нагрева нижней части садки вагонеток, обычно отстающей от нагрева верхней части.

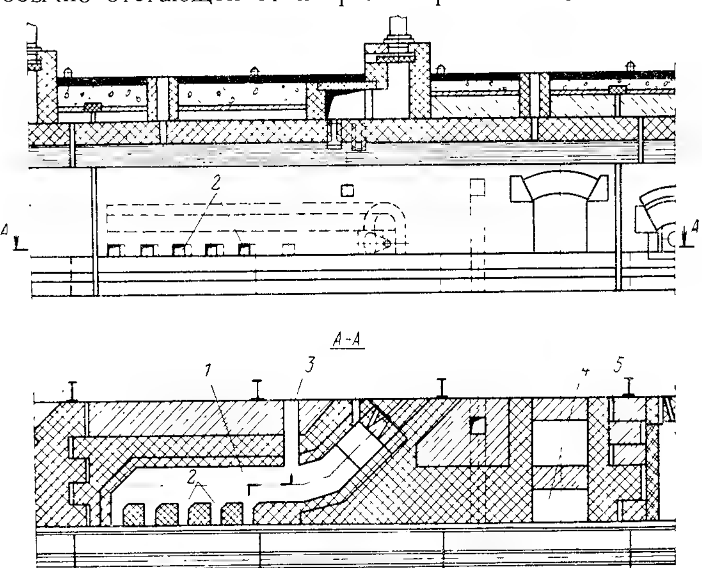


Рис. XII.12. Вспомогательные топки с распределенными вылетами пламени

Рядом с топкой имеется аварийный люк *4* и температурный шов *5*.

Муфельное охлаждение изделий осуществляется воздухом, который циркулирует в горизонтальных каналах *1* (рис. XII.13), проложенных в стенах туннеля и в межсводовом пространстве *2*. Нагретый воздух удаляется через трубы *3*. Нижние муфельные каналы сообщаются с печным каналом через отверстия *4*, перекрываемые шиберами *5*. Регулируя шиберами отбор воздуха из нижней части садки вагонеток, можно ускорить или задержать снижение температуры изделий в заданной стадии процесса.

Вылеты из газовых завес в зоне подогрева изготовлены в виде пяти пар фасонных камней *1* и *2* (рис. XII.14), образующих на стыках вертикальные каналы *3* с горизонтальными вылетами *4*. С применением такой конструкции вылетов горячий воздух завесы можно подавать горизонтально по ходу основного потока. По сравнению с широко практикуемой подачей воздуха перпендикулярно основному потоку снижается общее гидравлическое сопротивление движению газов в печном канале. Однако при этом снижается и эффект

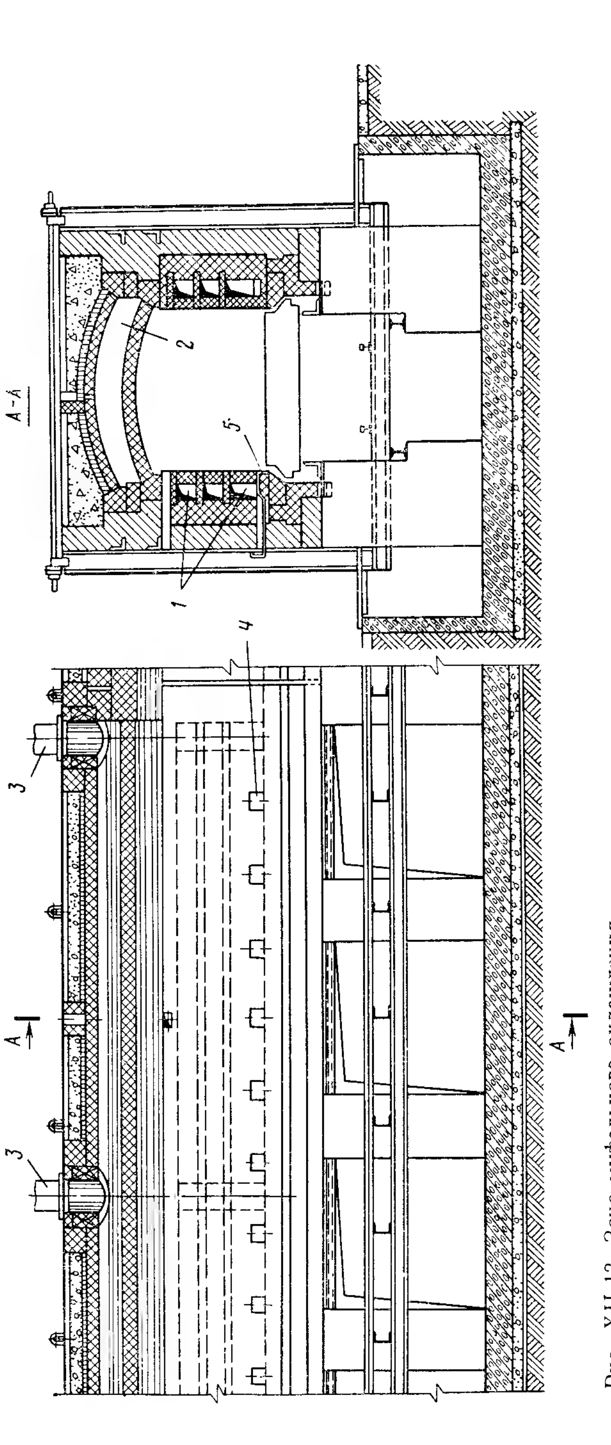


Рис. XII.13. Зона муфельного охлаждения

перемешивания ламинарных потоков газовой завесой. Техническая характеристика печи приведена в табл. XII.1.

Туннельная печь 110×1,65×0,88 м. Усовершенствование технологии производства санитарной керамики на наших заводах проходило в направлении перехода от двукратного к однократному обжигу, замене фаянсовых масс на полуфарфоровые и фарфоровые.

При изменении технологии производства конечная температура обжига почти не менялась и оставалась в пределах 1200—1270° С, и потому печи, построенные для первого обжига фаянса, можно использовать для обжига санитарных изделий.

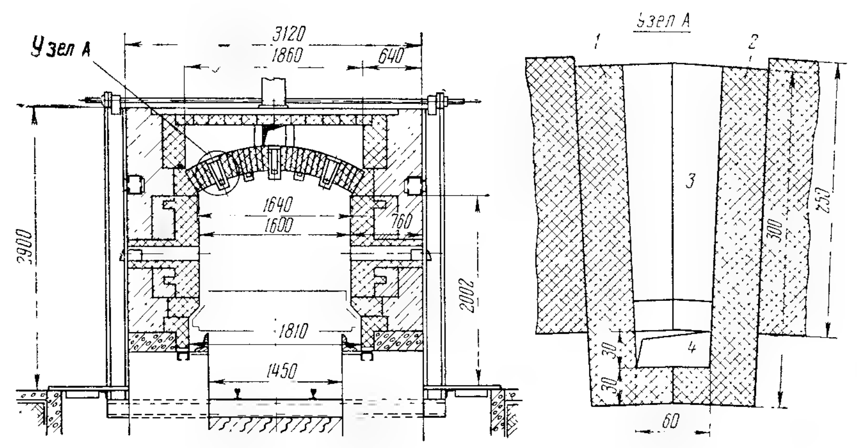


Рис. XII.14. Газовая завеса с горизонтальной подачей газов

Туннельная печь 110×1,6×0,88 м предназначена для бескапсельного однократного обжига крупных санитарных изделий (умывальных столов и унитазов) с непосредственным их нагревом и охлаждением и рассчитана на одноярусную загрузку изделий на вагонетках. Печи с низким каналом, рассчитанные на одноярусную загрузку, отличаются от печей с высоким каналом для двух- или трехъярусной садки вагонеток более равномерной температурой обжига изделий и вместе с тем меньшей производительностью и повышенным удельным расходом топлива. В этой печи на сплошном поду вагонетки устраивается канализированный под высотой 0,47 м из стоек и плит. На этих плитах устанавливаются глазурованные изделия для однократного обжига. В печи используется природный газ, сжигаемый в небольших горелках, подающих пламя в пролеты канализированного пода. Выбор одноярусной загрузки вагонеток, газообразного топлива, расположения горелок на уровне пода, исключающего сосредоточенное воздействие топочных газов на изделие,— все это связано с трудными условиями однократного обжига глазурованных изделий крупных размеров.

Рабочий канал печи длиною 110,5 м в зоне подогрева имеет 17 позиций и вмещает 17 вагонеток, в зонах обжига и охлаждения — соответственно 9 и 29 вагонеток. Схема движения газов в печи не отли-

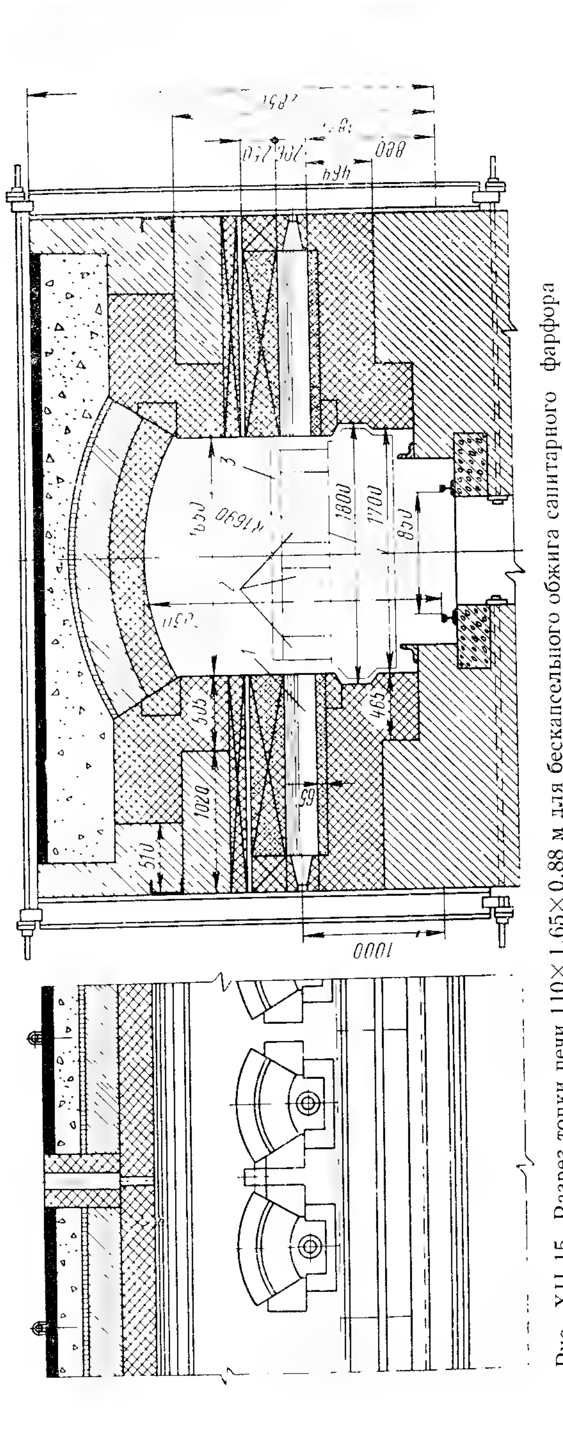


Рис. XII.15. Разрез топки печи 110×1,65×0,88 м для бескапсельного обжига санитарного фарфора

чается существенно от схемы, принятой для туннельной печи 104×1,6×1,25 м, показанной на рис. XII.11.

Некоторые особенности печи для однократного обжига санитарных изделий, связанные с одноярусной садкой изделий без капселей на огнеупорных этажерках, обусловили ее конструктивные отличия от печей, предназначенных для обжига изделий в капселях или на многоярусных этажерках.

Зона обжига печи занимает участок 18 и 26 позиции и оборудована 36 газовыми топками, расположенными друг против друга с инжекционными горелками типа МГПИ с принудительной подачей вторичного воздуха.

Топки *1* (рис. XII.15) щелевого типа подают продукты горения в пролеты *2* канализированного пода вагонеток и нагревают плиты *3*, на которых установлены изделия.

Далее топочные газы через пролеты в плитах *3* подымаются в рабочий канал печи и направляются в зону подогрева. Одноярусная садка изделий, омываемая вертикальными и горизонтальными потоками газов, постепенно и достаточно равномерно нагревается на позициях 18—22 примерно от 800° С до конечной температуры обжига (1250° С).

Эта печь была построена с использованием фундамента и каркаса реконструированной печи, в которой ранее применялась многоярусная садка изделий и крупногабаритные топки. Поэтому толщина стен зоны обжига и длина туннелей газовых горелок в какой-то мере были предопределены этими обстоятельствами.

Зона подогрева в отличие от других печей обогревается, кроме топочных газов, проходящих из зоны обжига, горячим воздухом (около 120° С), который подается вентиляторами через сводовые отверстия на позициях 5, 7, 9, 11 и 14.

Дымовые газы отбираются из печного канала на позициях 4—12 через пять пар окон, расположенных против канализированного пода.

Сечения окон и каналов рассчитаны с большим запасом, что дает возможность регулировать шиберами подъем температуры изделий в зоне подогрева в широких пределах: от быстрого при сосредоточенном отборе газов в начале зоны до замедленного — по заданной кривой — при рассредоточенном отборе.

Зона охлаждения оборудована двумя системами охлаждения — муфельной на позициях 33—44 и с непосредственным омыванием изделий воздухом на позициях 45—53.

Техническая характеристика печи приведена в табл. XII.1.

3. ТУННЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ ДЛЯ ОБЖИГА ФАРФОРА

Обжиг фарфоровых изделий отличается от обжига фаянса наличием восстановительного периода (когда печные газы содержат 2—4% окиси углерода) и более высокой конечной температурой спекания (1350—1400° С).

Ассортимент фарфоровых изделий весьма разнообразен. Размеры их колеблются в широких пределах, например, по высоте от 2 см

в кофейных сервизах до 2,5 м в высоковольтных изоляторах — бушингах, а по диаметру от 5 см до 1 м и более. Резкое отличие в размерах фарфоровых изделий обусловливает различные способы загрузки изделий в печь и разную продолжительность их обжига.

На скорость нагрева и охлаждения фарфора в разные периоды обжига оказывает большое влияние толщина стенок фарфоровых изделий. Продолжительность обжига тонкостенных фарфоровых чашек может быть снижена в конвейерной печи до 3—5 ч. Нагрев и охлаждение фарфоровых изделий (например, бушингов) с толщиной стенок до 150 мм производится медленно в соответствии со скоростью диффузионных процессов, протекающих в толще фарфора. В этих условиях продолжительность обжига достигает 100—160 ч.

Отмеченные выше особенности обжига фарфора отразились на конструкциях туннельных печей. Из довольно многочисленных конструктивных вариантов этих печей приводим краткие описания трех печей типичных в производстве хозяйственного фарфора и крупногабаритных изоляторов: 93×1,5×1,7 м, 94×1,3×1,72 м, 141×2,5×3,28 м.

Туннельная печь 93×1,5×1,7 м. Эта печь была спроектирована ГИКИ для обжига хозяйственного фарфора разнообразного ассортимента в двух вариантах: для обогрева природным газом или жидким топливом [7].

На рис. XII.16 показана схема движения газов в туннельной печи, предназначенной для обжига на природном газе.

Зона обжига оборудована тридцатью щелевыми топками *1* и восемью межсадочными топками *2*, подающими пламя в пролеты между садкой смежных вагонеток. Это позволяет регулировать температурную кривую и состав газовой среды обжига на позициях 12—26. Отбор дымовых газов в зоне подогрева, рассредоточенный между позициями 3 и 8, осуществляется вентилятором *3* и дает возможность в какой-то мере регулировать нагрев изделий при температуре от 30 до 900 С.

Воздух для охлаждения изделий подается вентилятором *4* навстречу выходящим из туннеля вагонеткам под свод и в нижнюю часть садки.

Рассредоточенный отбор горячего воздуха из зоны охлаждения осуществляется вентиляционной установкой на позиции 45, а затем в горячей части зоны на позициях 29—31, 33—35 вентилятором *5*.

Отбор горячего воздуха на любой из названных позиций, а следовательно, и кривая охлаждения изделий в этой области регулируются шиберами.

Вентилятором *6* в подвагонеточном коридоре обеспечивается разрежение воздуха, приближающееся к разрежению в печном канале, чем снижается до приемлемого минимума фильтрация газов через стыки вагонеток и песочные затворы.

В подвагонеточный канал зоны охлаждения воздух нагнетается вентилятором *7* через канал *8* и таким образом компенсирует давление в печном канале на участках подачи охлаждающего воздуха.

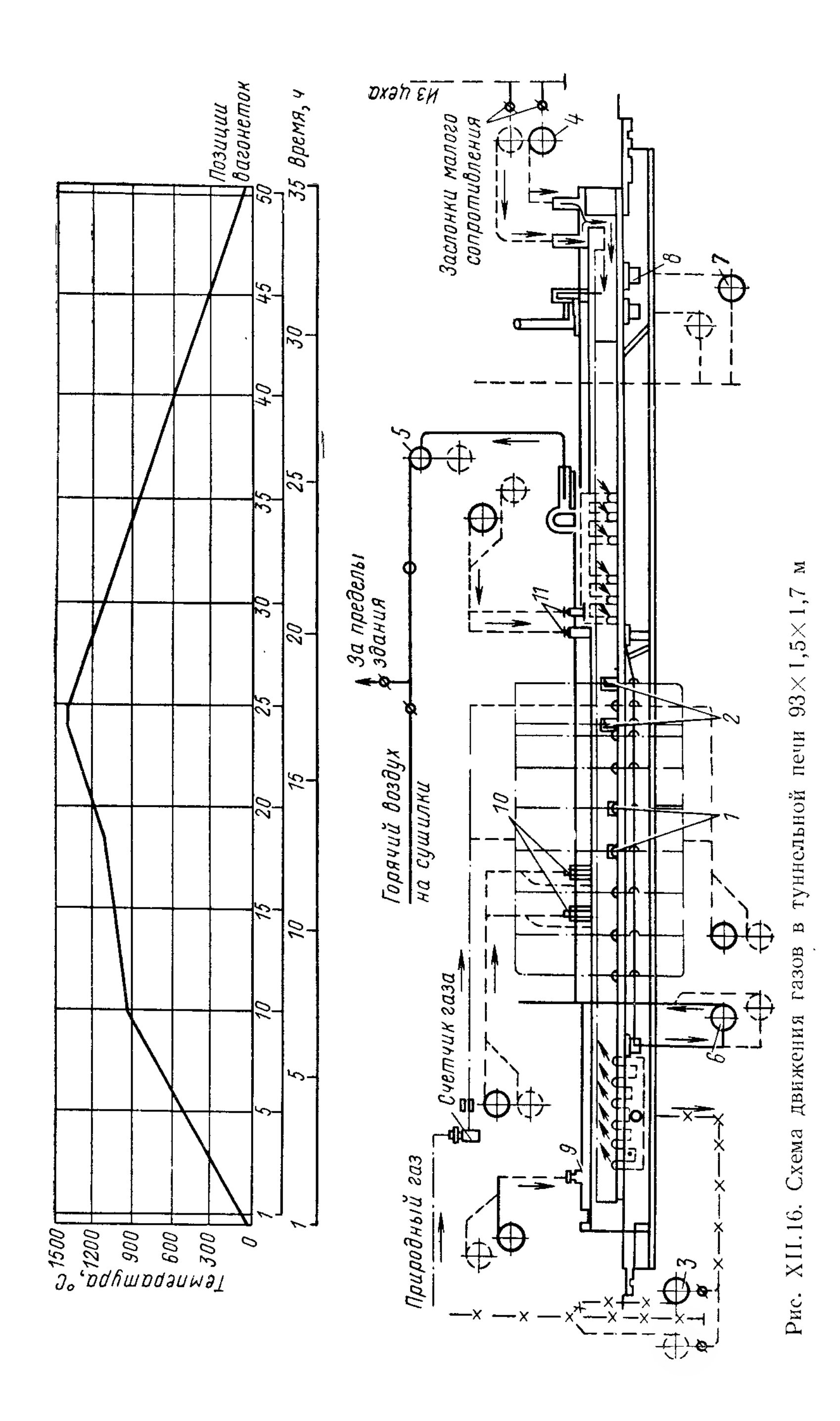


Рис. XII.16. Схема движения газов в туннельной печи 93×1,5×1,7 м

На участках, где отбирается горячий воздух (позиции 29—35), возникает разрежение, и под влиянием давления в подвагонеточном канале воздух из него будет просачиваться в печной канал без ущерба для охлаждаемой продукции. Под зоной обжига давление воздуха, подаваемого вентилятором *7*, изменяется на разреженное, обусловленное отбором воздуха вентилятором *6*. Регулируя подачу воздуха вентилятором *7* через канал *8* и отбор воздуха вентилятором *3*, можно обеспечить небольшое давление под вагонетками, расположенными ближе к зоне охлаждения, а затем снижение этого давления и переход на разрежение под вагонетками, расположенными ближе к зоне подогрева. Полное совпадение давления в подвагонеточном канале с давлением в печном канале было бы оптимальным решением вопроса. Однако такое совпадение давлений невозможно вследствие разных сопротивлений движению воздуха и газов в печном и подвагонеточном каналах. При недостаточном уплотнении в стыках вагонеток и песочных затворах подсос воздуха в печной канал задерживает выравнивание температурного поля по сечению садки. Подача горячих газов из печного канала в подвагонеточный через недостаточные уплотнения может привести к дефектам в работе подвижного состава печи. Поэтому тщательное регулирование работы вентиляторов подвагонеточного канала определяет эффективность этой схемы регулирования давлений в подвагонеточном канале туннельных печей.

В печи предусмотрено устройство вертикальных газовых завес: *9* — на позициях между второй и третьей вагонетками, *10* — на позициях 16, 18 и 19 восстановительной зоны и *11* — на позициях 28 и 29 зоны охлаждения. С помощью завес регулируют температурную выдержку во время восстановительного процесса. Через завесы на стыке зоны охлаждения с зоной обжига подается воздух с давлением, превышающим давление дымовых газов в зоне обжига и препятствующим их отбору вентилятором зоны охлаждения. Примешивание дымовых газов к горячему воздуху зоны охлаждения помешало бы его использованию в сушилках фарфорового завода.

Конструкция зоны подогрева показана на рис. XII.17.

Входной шлюз *1* зоны подогрева перекрывает поступление воздуха из цеха в печной канал во время загрузки очередной вагонетки жалюзными шторами *2* и *3*.

Газовая завеса *4* состоит из стояка и прорезающей свод распределительной щели *5*, через которую должны подаваться в садку вагонеток на позициях 2 и 3 газы с давлением, близким к атмосферному.

Газовые завесы устраняют нарушение гидравлического режима во время подачи в печной канал очередной вагонетки. При подаче в завесу дымовых газов улучшается нагрев садки на первых вагонетках. Суммарное сечение двенадцати вылетов в стенах зоны подогрева в несколько раз превосходит расчетное сечение газоходов *6* для отбора дымовых газов вентилятором, что дает возможность частичным или полным перекрытием некоторых вылетов регулировать температуру нагрева фарфора на позициях 4—8 без нарушения

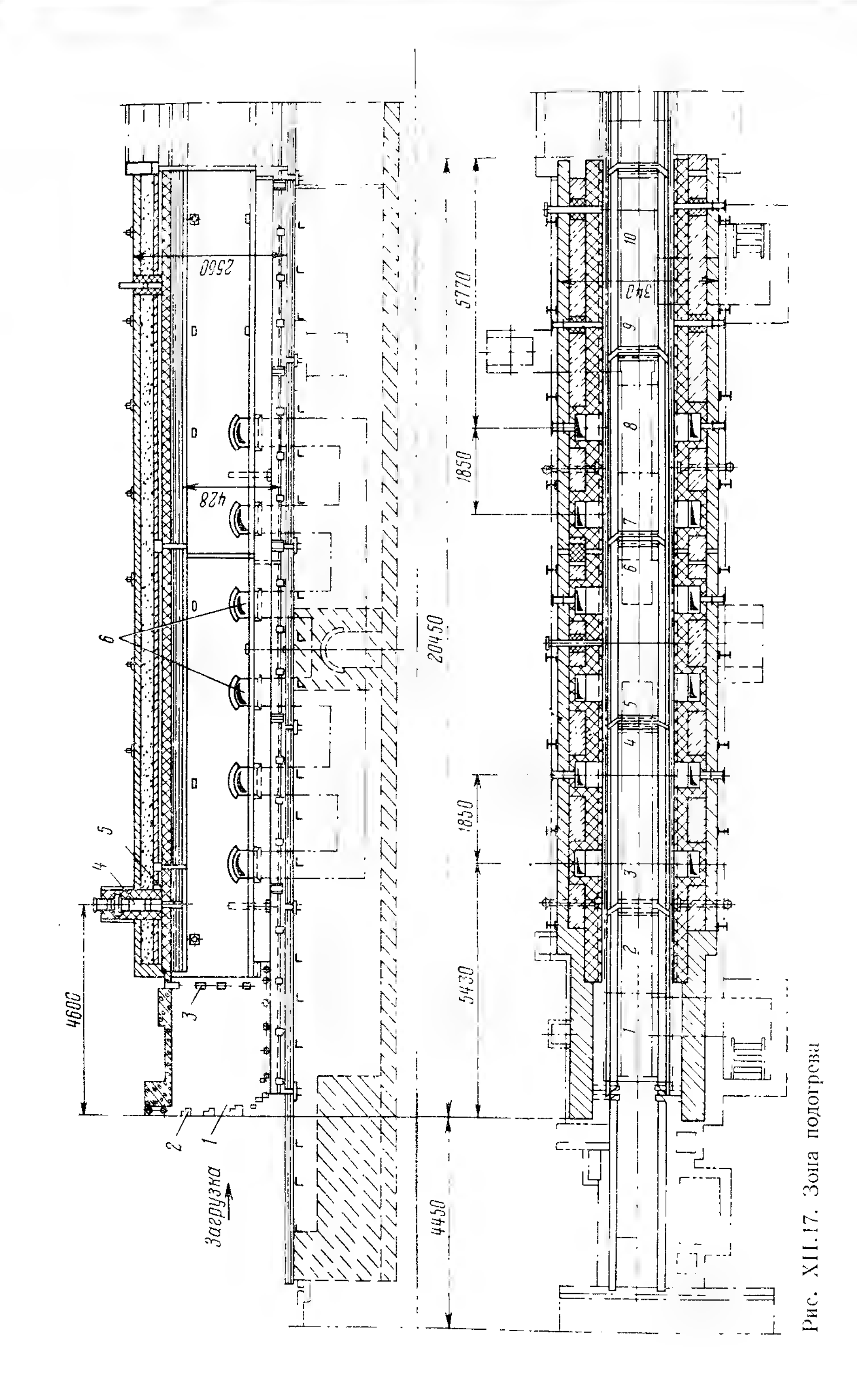


Рис. XII.17. Зона подогрева

гидравлического режима в зоне обжига. Стены зоны подогрева футерованы шамотным огнеупором класса Б, изолированы диатомовым кирпичом марки 700 и облицованы строительным глиняным кирпичом марки 100.

Свод зоны выложен из шамотного кирпича класса Б и изолирован шамотным легковесом, диатомовым кирпичом и диатомитом.

В кладке зоны подогрева предусмотрено устройство двух температурных швов — посередине зоны и на стыке с зоной обжига. Конструкция зоны обжига показана на рис. XII.18.

В зоне подогрева температура фарфора в нижней части садки существенно отстает от нагрева в верхней части. Поэтому зона обжига по всей длине оборудована щелевыми топками *1*, подающими пламя в надстройку из фасонных стоек, на которых устанавливаются капсели или этажерки с обжигаемым фарфором. Благодаря такому размещению щелевых топок достигается достаточно равномерный нагрев по высоте садки вагонеток. Вместе с тем малые размеры и мощности щелевых горелок недостаточны для более интенсивного нагрева фарфора в зоне максимальных температур на позициях 22—25 вагонеток. Поэтому с каждой стороны печного канала размещены по четыре межсадочных топки *2*, подающие пламя в просвет между садкой смежных вагонеток.

Проектная ширина пролета *1* (рис. XII.19, *а*) между капселями, предназначенного для дожигания газов, подаваемых в садку из топок *2*, составляет 170—180 мм. Однако размеры свободного пролета можно изменять при садке капселей на вагонетках в соответствии с размерами и формой двух встречных факелов пламени. Для более равномерного нагрева капселей по ширине садки между капселями рекомендуется оставлять продольный канал *3* (рис. XII.19, *б*), по которому направляются топочные газы в зону подогрева.

Карборундовые двутавровые стойки *4* размещаются на платформе вагонетки с расстоянием между осями 350 мм, чем обеспечивается достаточная ширина канала *5*, являющегося продолжением камеры щелевой горелки.

В части зоны обжига, прилегающей к зоне подогрева, завершаются процессы, протекающие в окислительной среде с большим избытком кислорода, и начинаются процессы, протекающие в восстановительной среде, получаемой при неполном сгорании топлива в отдельных щелевых горелках.

Для надежного и более четкого разграничения окислительной и восстановительной зон устроены три газовые завесы.

Воздух в газовые завесы целесообразно подавать из зоны охлаждения с предельно высокой для выбранных вентиляторов температурой. Количество воздуха, подаваемого в каждую завесу через щели в своде, регулируется шиберами.

Конструкция зоны обжига является наиболее сложной в печи из-за большого количества топок. Здесь определяется качество обжигаемой продукции и срок службы печи до очередного капитального ремонта.

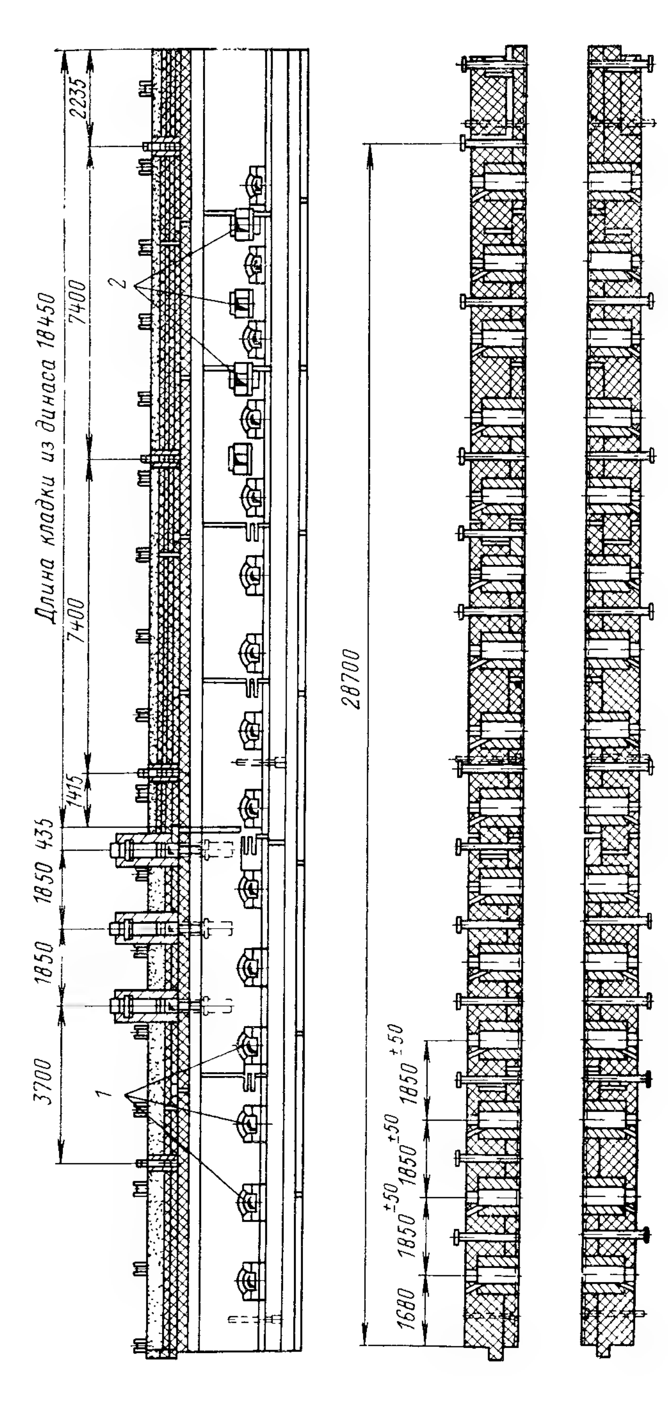


Рис. XII.18. Зона обжига

В первой части зоны обжига на позициях 11—17 температура в печном канале обычно не превышает 1200° С и потому стены и свод в его рабочей части футерованы шамотным кирпичом класса Б. Топочные камеры, работающие при высоких тепловых напряжениях сложены из фасонного динаса I класса. Стены (за исключением топок) и свод изолированы шамотным легковесом. На своде имеется слой засыпки из диатомита толщиной около 0,5 м. Снаружи между стойками каркаса стены вдоль всей зоны на высоте печного канала покрыты слоем изоляции — асбозуритом толщиной 150 мм.

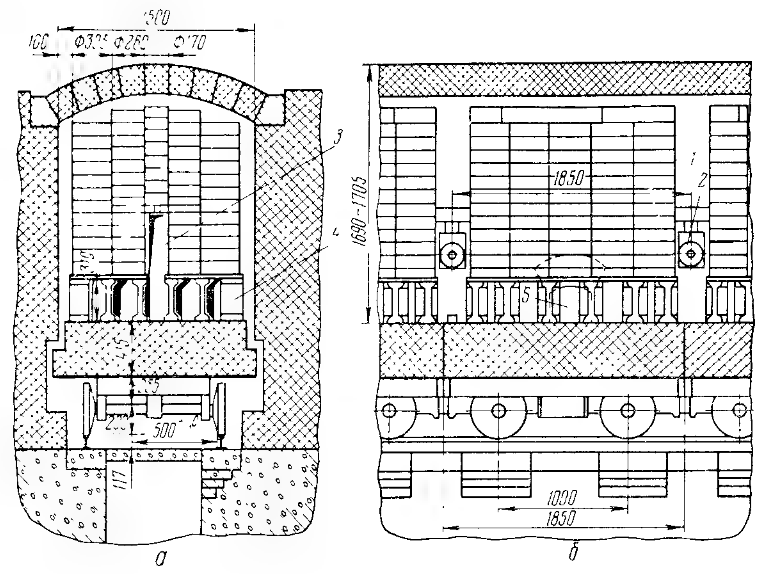


Рис. XII.19. Садка капселей с фарфором на вагонетке:

а — межсадочный пролет для основных топок; *б* — пролеты для движения газов в средней части садки

В конце зоны обжига температура газов в печном канале может достигать 1450° С. Поэтому стены и свод канала зоны обжига на позициях 18—27 футерованы динасом, а в последних конструкциях — глиноземным кирпичом. Стены выложены шамотным кирпичом класса Б с изоляцией шамотным легковесом в верхней части и без изоляции в нижней части, где размещаются топочные камеры.

Свод изолирован четырьмя рядами шамотного легковеса и диатомитовой засыпкой.

Зона охлаждения имеет нагнетательный вентилятор, который, как и в печи 94×1,3×1,75 м (см. рис. XII.9), подает холодный воздух через коробку *1* и каналы *2* под свод печного канала *3* и в нижнюю часть садки.

Горячий воздух отбирается вентилятором через щель *4* и *5* в своде печи и трубу *6*, а затем вторым вентилятором через проложенные в стенах каналы *7* и *8* и коллектор *9*. Шибера предназначены для регулирования количества отбираемого в разных пунктах нагретого

воздуха и соответствующего регулирования температурной кривой охлаждения изделий.

В зоне обжига преобладает более высокое давление газов, чем в примыкающем к ней участке зоны охлаждения. Поэтому для устранения подсоса топочных газов к отбираемому из зоны охлаждения горячему воздуху и его загрязнения на позиции 29 устроена газовая завеса.

Через канал и щели в печь подается воздух, давление которого превышает давление топочных газов в смежной зоне обжига. Таким образом устанавливается незначительное движение воздуха в сторону зоны обжига, исключающее попадание продуктов сжигания топлива в горячий воздух зоны охлаждения, используемых для сушки фарфоровых изделий. В соответствии с невысокими температурами циркулирующего в зоне охлаждения воздуха на позициях 27—31 предусмотрена футеровка из шамотного кирпича класса Б толщиной 235 мм и кирпича с изоляцией из шамотного легковеса толщиной 700 мм. В зоне вытяжных каналов толщина футеровки, естественно, увеличивается. На позициях 31—37 толщина изоляции из легковеса уменьшается до 350 мм, и печь имеет облицовку из глиняного строительного кирпича толщиной 250 мм. Остальная часть зоны имеет футеровку из шамотного кирпича класса Б и облицовку строительным кирпичом. Своды также выложены из шамотного кирпича класса Б с изоляцией легковесом и порошкообразным диатомитом.

Как показало регулирование работы печи в пусковой период, а также ее длительная последующая эксплуатация, щелевые топки нагрева нижней части садки вместе с использованием топок, подающих пламя сначала в пролеты между садкой смежных вагонеток, а затем по центральным каналам вдоль печи, обеспечивают выравнивание температуры по всем сечениям вагонетки при нагреве в течение 20 ч.

Результаты определения температур нагрева в разных частях садки по падению конусов (рис. XII.20, *а*) позволяют сделать вывод, что в этой печи в конечной стадии 20-часового нагрева достигается достаточная равномерность обжига при температуре пироскопа № 135 (1350° С). Только над вылетами пламени в печной канал из щелевых топок температура поднимается до 1370° С. Это незначительное отступление от в общем удовлетворительной изотермичности температурных полей по разным сечениям садки можно устранить регулированием режима работы последних двух-трех пар щелевых топок со смещением максимальной температуры факела к центру вагонетки. Одним из эффективных способов для изменения температур в разных частях факела является изменение интенсивности перемешивания газа с воздухом в горелках и в камерах топок.

В результате регулирования работы печи 93×1,5×1,7 м на Дмитровском фарфоровом заводе были установлены приемлемые для 40-часового цикла обжига (нагрева и охлаждения) кривые температур, а также давлений в печном канале и подвагонеточном коридоре (рис. XII.20, *б*).

При этом остались неиспользованными некоторые показанные на схеме щелевые и межсадочные топки, а также каналы для отбора дымовых газов и горячего воздуха (регулировочный резерв печи).

При наличии резервных вентиляторов печь имеет существенные резервы для интенсификации обжига.

Основной предпосылкой для использования в мощных туннельных печах ускоренных режимов является разработка технологических методов, обеспечивающих при таких режимах обжига выпуск высококачественной продукции и длительную службу капселей с повышением их термостойкости.

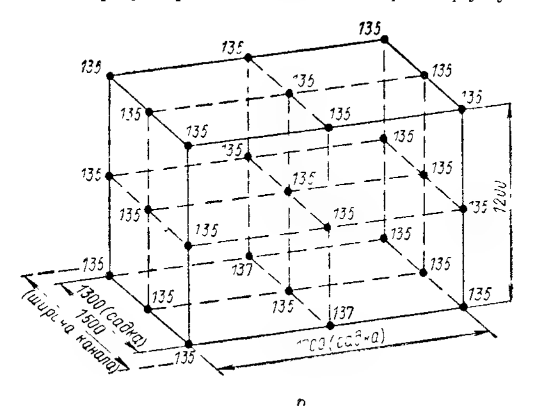
Широкое использование вместо шамотных капселей карборундовых, обладающих большей теплопроводностью и термостойкостью, является важной предпосылкой для внедрения ускоренных режимов обжига. Интенсификация теплообмена в зоне подогрева и резкое снижение разницы температур в верхних и нижних ярусах садки являются важнейшими условиями повышения производительности туннельных печей.

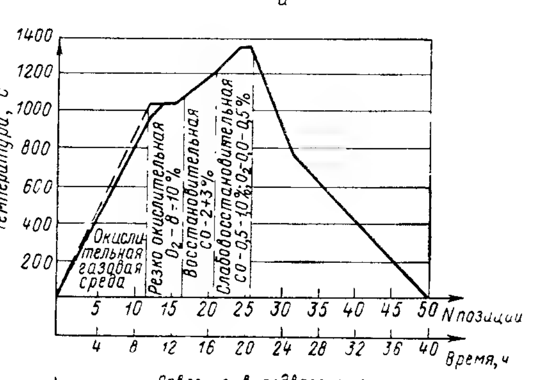
Техническая характеристика туннельных печей для обжига фарфоровой посуды

	Печь 93×1,5×1,7 м	Печь 94×1,3×1,72 м
Длина печи (верхнего строения), м	93,5	94
Ширина печного канала, м	1,5	1,3
Высота печного канала от футеровки вагонеток до замка свода, м	1,7	1,72
Высота подставок под капсели (канализированного пода), м	0,34	0,34
Длина вагонеток, м	1,85	1,85
Ширина рамы вагонеток, м	1,59	1,5
Ширина футеровки вагонеток, м	1,59	1,4
Ширина колеи, м	0,9	0,9
Количеств вагонеток в печи	50	56
Масса этажерки на вагонетке, кг	—	1100
Расход природного газа калорийностью 8467 ккал/м³ в ч	202	198
Давление газа в газопроводе, Па (мм вод. ст.)	2942 (300)	2942 (300)
Давление воздуха, подаваемого к горелкам, Па (мм вод. ст.)	2451 (250)	981 (100)
Расход условного топлива на 1 кг обожженного фарфора, кг/кг	1,0	1,35
Тепло, передаваемое с горячим воздухом из зоны охлаждения в сушилки, ккал/ч	Около 400 000	Около 4[illegible] 000
Установленная мощность двигателей, кВт:		
непрерывно работающих	70	69
периодически работающих	16	10,5

Проектная техническая характеристика туннельных печей 93×1,5×1,7 м не исчерпывает их потенциальных возможностей, которые можно реализовать путем некоторых не требующих больших затрат усовершенствований в зоне подогрева и охлаждения при капитальных ремонтах печей.

В первую очередь необходимо снизить перепад температур по высоте канала в зонах подогрева и охлаждения путем установки перемешивающих вентиляторов из жароупорной стали по примеру усовершенствованных печей для обжига электроизоляционного фарфора. Повышение производительности печей потребует повышения тепловой нагрузки некоторых топок зоны обжига. Поступление более равномерно нагретых вагонеток из зоны подогрева в зону обжига позволяет сократить время их пребывания в этой зоне без ущерба для качества продукции. Более равномерное охлаждение садки вагонеток позволит сократить его продолжительность без снижения обогачиваемости капселей или вагонеточных этажерок и без увеличения боя изделий от термических напряжений. В связи с переходом на более термостойкий карборундовый припас при усовершенствовании циркуляции воздуха продолжительность охлаждения тонкостенного хозяйственного фарфора можно резко снизить. Таким образом в современных условиях имеются реальные возможности для увеличения производительности туннельных печей и повышения их эффективности. Возникает также необходимость пересмотра соотношения длины зон подогрева, обжига и охлаждения во вновь проектируемых и реконструируемых печах, предназначенных для обжига хозяйственного фарфора.





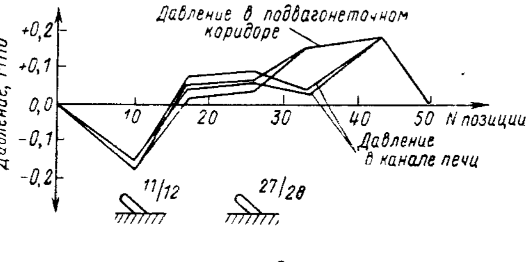


Рис. XII.20. Температурный режим в печи 93×1,5×1,7 м:

а — конечная температура обжига в разных частях садки на вагонетке; *б* — режимы обжига фарфора

Туннельная печь 94×1,3×1,72 м. Эта печь не имеет в своей конструкции каких-либо отличий от печи 93,5×1,5×1,69 м. Поводом

для разработки этого варианта туннельной печи было предположение, что при уменьшении ширины канала с 1,5 до 1,3 м можно получить более равномерное температурное поле в поперечном сечении садки изделий на вагонетке. Основной причиной неравномерности нагрева изделий в разных зонах туннельной печи является перепад температур в газовом потоке по высоте печного канала. Высота канала от пода вагонетки до замка свода не снижена, а даже немного увеличена (с 1,70 до 1,72). Схема обогрева щелевыми и межсадочными газовыми топками оставлена прежняя.

В этих условиях равномерность температурного поля по ширине печи определяется главным образом регулированием длины факела пламени путем изменения соотношения газа и воздуха в горелках. В печи 94×1,3×1,72 м не предусмотрены какие-либо дополнительные устройства для снижения перепада температур по высоте садки в зоне подогрева. Поэтому ожидать заметного изменения в равномерности нагрева в этой печи по сравнению с печью 93,5×1,5×1,69 м нет оснований, что подтверждается контрольными измерениями температур в разных частях вагонетки.

Техническая характеристика печи 94×1,3×1,72 приведена выше в сопоставлении с печью 93×1,5×1,7 м.

По удельным затратам на строительство и эксплуатационным затратам печь 94×1,3×1,72 м уступает печи 93,5×1,5×1,69 м [3].

Учитывая эти недостатки, печь с уменьшенной шириной канала можно применять лишь на заводах малой мощности, когда производительность печей определяется соображениями местного значения. В специализированном производстве, когда для бескапсельного обжига полых изделий (например, фарфоровых чаш) применяются карборундовые этажерки, ширина вагонетки ограничивается, чтобы создать удобства при загрузке ее изделиями.

На фарфоровых заводах, как правило, в одной печи обжигают чашки и другие полые изделия, а также тарелки и блюдца. Наиболее выгодное использование печного объема получается при обжиге полых изделий без капселей на карборундовых этажерках, а блюдец, тарелок и блюд — в капселях. Для этого в мощных печах с широким печным каналом среднюю часть вагонетки целесообразно загружать на неширокой (до 0,8 м) этажерке, а по краям ставить капсели с тарелками и блюдцами. Поэтому для обжига хозяйственного фарфора строить туннельные печи с шириною канала меньше 1,5 м нецелесообразно.

Туннельная печь 141×2,5×3,28 м. Эта печь предназначена для обжига крупногабаритных фарфоровых изоляторов, к которым предъявляются жесткие требования в отношении равномерности температуры и газовой среды по сечению вагонетки в разные периоды обжига.

При обжиге фарфоровых изделий мелких и средних размеров пониженные температуры обжига нижней части садки по сравнению с верхней могут привести к недожогу лишь тех изделий, которые расположены в нижней части садки.

Неравномерность нагрева крупных изоляторов (высотою до 2,5 м), местные недожоги, пережоги или другие дефекты приводят к браку изделий и к большим потерям.

Массивная конструкция крупногабаритных изоляторов в отличие от сравнительно тонкостенного хозяйственного и санитарного фарфора обусловливает большую продолжительность окислительных и восстановительных процессов, протекающих в толще обжигаемого фарфора. В связи с возникающими при этом особенностями кинетики физико-химических процессов возросла необходимость в более равномерных составах газовой среды в разных участках печного канала и более четком обособлении работы отдельных зон туннельной печи.

Жесткие требования к температурному и газовому режимам обжига крупногабаритных изоляторов препятствовали применению туннельных непрерывно действующих печей в этой отрасли фарфорового производства. На зарубежных заводах до сих пор крупногабаритные изоляторы обжигают в печах периодического действия.

Грандиозное развитие энергетики в СССР и связанное с этим увеличение потребности в крупногабаритных фарфоровых изоляторах послужило стимулом к разработке впервые в мировой практике специальной конструкции мощных туннельных печей и успешному их внедрению на наших заводах *. Конструктивные усовершенствования в печах для крупногабаритного фарфора можно с успехом использовать и в печах для обжига хозяйственного фарфора и строительной керамики в целях увеличения их производительности и повышения качества продукции.

На основании ранее освоенных туннельных печей для обжига изоляторов и работ, проведенных Государственным научно-исследовательским электрокерамическим институтом, построена туннельная печь 141,5×2,5×3,28 м для обжига изоляторов (оболочек) высотой до 2,5 м.

В зоне подогрева на позициях 1—18 изоляторы нагреваются до 1000° С в окислительной среде.

В зоне обжига на позициях 19—28 протекают процессы спекания фарфора в восстановительной среде с выдержкой при максимальной температуре 1300—1320° С. В третьей зоне на позициях 29—54 изоляторы охлаждаются.

При длине вагонетки 2,5 м рабочая длина печного канала (54 позиции и соответствующее количество вагонеток) — 135 м, а общая длина вместе с входным и выходным вестибюлями — 141,5 м.

При ширине печного канала 2,5 м и высоте от пода до замка свода 3 м рабочий объем печи составит около 830 м³.

Проектная продолжительность обжига изоляторов высотой до 2,5 м — 162 ч.

Печь отличается от других туннельных печей фарфоровой промышленности большой высотой канала и потому в ее конструкции

* Печи проектировались и осваивались в производстве под руководством канд. техн. наук В. В. Кортнева.

предусмотрены устройства для выравнивания температурного поля по сечениям садки изделий на вагонетке, которые можно рекомендовать к использованию и для обжига других керамических изделий, так как выравнивание температур по сечению канала в зоне подогрева дает резкое увеличение производительности печей и повышает качество изделий. В печи длиной 141 м использованы основные конструктивные элементы ранее построенной печи длиной 125 м.

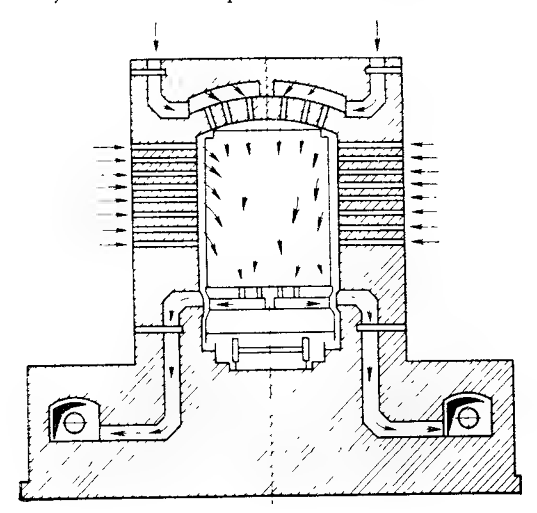


Рис. XII.21. Газовые завесы на позициях 1 и 2

Печи с высоким каналом требуются и для обжига крупногабаритного химического фарфора, длинномерных керамических труб. Устройства для обеспечения равномерности нагрева садки вагонеток и для обжига этих изделий окажутся особенно эффективными.

Отметим основные устройства, используемые в печи для регулирования режима обжига и обеспечения равномерности спекания изделий по всему сечению печного канала.

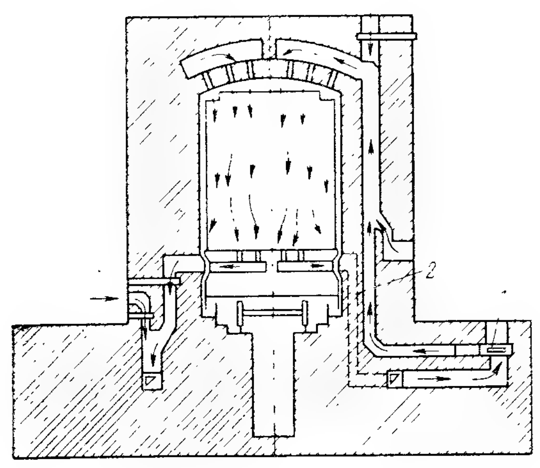


Рис. XII.22. Схема работы жароупорных вентиляторов для рециркуляции газов в зоне подогрева

Газообмен между рабочим каналом печи и помещением цеха, который мог бы снизить температуру нагрева нижней части садки, предотвращается устройством и на позициях 1 и 2 воздушных завес с распределенным вдуванием подогретого воздуха через свод и стены печи (рис. XII.21). Подогретый воздух для этой цели отбирается центробежным вентилятором из подвагонеточного канала на позиции 5.

Продукты горения из печного канала отбираются через 17 пар отверстий, распределенных между позициями 2 и 9 на уровне канализированного пода вагонеток.

Снижение температурной неравномерности по сечению садки в зоне подогрева достигается установкой семи пар центробежных вентиляторов из жаропрочной стали. Вентиляторы *1* (рис. XII.22) установлены с защитной стенкой *2* от прямого излучения садки. При этом лучшей схемой движения газов является отбор газов вентиляторами снизу садки и подача их через свод печи, а не наоборот. Вентиляторы установлены на позициях 4—10, для работы при температуре 800—900° С.

20 пар топок с горелками для сжигания природного газа установлены в интервале между позициями 11—27.

Зона с восстановительной средой отличается от окислительной зоны двумя парами воздушных завес, установленных на позициях 17 и 18. Воздух, поступающий через завесы, обеспечивает более четкое разделение зон окислительного и восстановительного процессов обжига. Верхняя часть горизонтального потока продуктов горения обогащается кислородом для выжигания из фарфоровой массы органических веществ и адсорбированного углерода. Своевременное завершение окислительного процесса (до 1000° С) исключает возможность возникновения таких дефектов фарфора, как «прыщ» или «углеродистый пузырь».

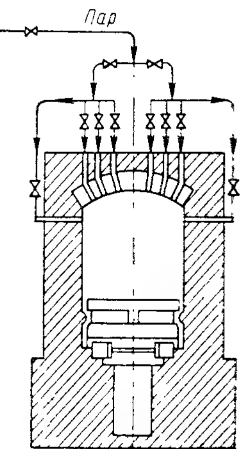


Рис. XII.23. Схема устройства паровой завесы

Кроме того, воздушными завесами устраняется расслоение газового потока и обеспечивается заполнение всего печного канала в этой зоне продуктами неполного сгорания топлива.

Воздух в гидравлические завесы подается вентиляторами из жаропрочной стали. Конструктивное решение этого узла предусматривает также возможность отбора этими вентиляторами продуктов горения из нижней части рабочего канала и подачи их вместе с горячим воздухом через свод на газовые завесы. Этот вариант газовых завес обеспечивает наиболее гибкое регулирование температуры и состава газовой завесы.

В конструкции печи на позиции 22 предусмотрено вдувание пара через свод (рис. XII.23), что дает возможность удерживать температуру в конце восстановительного периода в пределах 1180—1200° С без существенного нарушения содержания окиси углерода в газовой среде (рис. XII.24).

Введением пара снижается температура на этом участке до заданной, не изменяя оптимальной концентрации окиси углерода, в то время как изменение температуры за счет увеличения избытка воздуха привело бы к изменению содержания водорода и окиси углерода.

Воздушные завесы на позициях 29—31, состоящие из трех самостоятельных блоков, предотвращают проникновение продуктов горения из топочной зоны в зону охлаждения.

Горячий воздух из зоны охлаждения отводится через три самостоятельные группы каналов на позициях 32—49 из нижней части печного канала, а на позициях 32 и 33 из верхней.

Циркуляционные вентиляторы (восемь пар) из жаропрочной стали, установленные на позициях 34—48 и работающие с подсосом холодного воздуха, обеспечивают охлаждение изоляторов по заданной кривой с достаточной равномерностью по сечению печного канала.

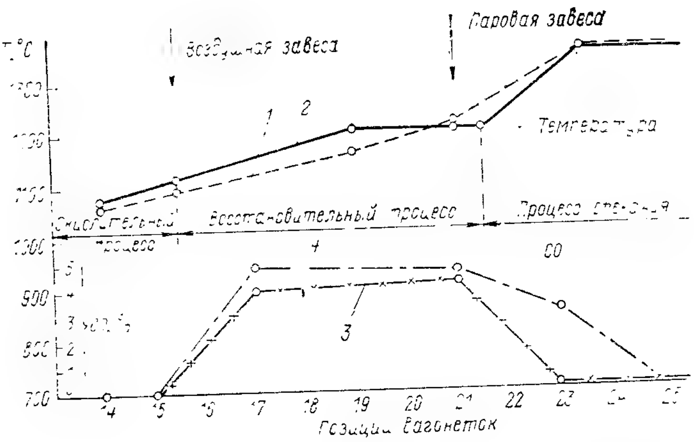


Рис. XII.24. Изменение температурного и газового режимов при включении и выключении паровой завесы:

1 — температура до включения паровой завесы; *2* — то же, после включения; *3* — содержание CO до включения паровой завесы; *4* — то же, после включения

Противоточное охлаждение изделий на позициях 51—53 выполняется путем вдувания холодного воздуха через свод и стены печного канала.

Шлюзование выходной камеры выполнено путем устройства самозакрывающейся внутренней двери и устройства для автоматической передачи вагонеток на трансферную тележку.

Гидравлический режим и охлаждение ходовой части печных вагонеток в подвагонеточном пространстве регулируются в трех зонах путем устройства самостоятельных систем для нагнетания и отбора воздуха.

В первой зоне воздух подается на позиции 15, отбор на позиции 5, во второй соответственно на 28 и 20, в третьей на 45 и 34.

4. ЩЕЛЕВАЯ ТУННЕЛЬНАЯ ПЕЧЬ ПАс

Столовая фарфоровая посуда массового изготовления по размерам и массе отличается от чайных или кофейных сервизов, чем и обусловливаются разные режимы их обработки.

Для обжига чашек и блюдец разработаны и проверены в производственных условиях скоростные режимы политого обжига про-

должительностью 3—5 ч. При этом на крупных заводах производство чайной посуды организуется в специализированных поточных линиях с использованием малогабаритных щелевых печей.

Для первого низкотемпературного обжига фарфора успешно используются конвейерные печи. Использование конвейерных щелевых печей для бесканального одноярусного обжига чашек и блюдец при температуре 1350—1410° С оказалось нецелесообразным вследствие недостаточной надежности огнеупорных деталей шагающих и роликовых конвейеров при высоких температурах.

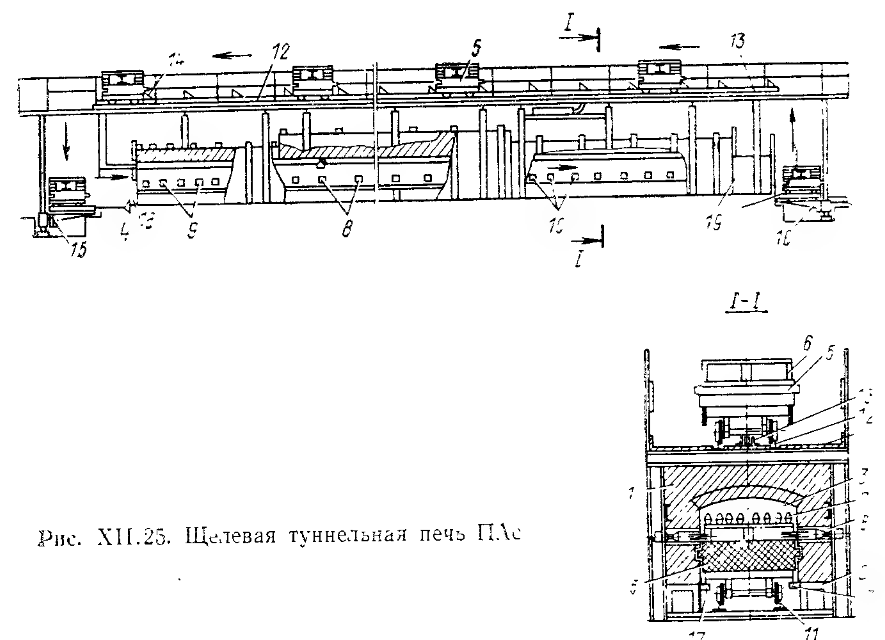


Рис. XII.25. Щелевая туннельная печь ПАс

В щелевых туннельных печах ПАс, разработанных в ГИКИ, изделия перемещаются в печном канале на вагонетках легкой конструкции. Своевременная замена износившихся вагонеток исключает простой и аварии в печах этого типа. В этом их преимущество по сравнению с применяемыми высокотемпературными конвейерными печами.

Печь ПАс используется на некоторых наших заводах для второго обжига тонкостенных чашек, блюдец и полукружек при скоростных режимах (3—5 ч). При одноярусном обжиге тонкостенных изделий обеспечивается быстрый равномерный их прогрев и ускоренное течение диффузионных процессов спекания фарфора.

Печь ПАс состоит из туннеля *1* (рис. XII.25), выполненного из огнеупорных и изоляционных материалов в каркасе *2* печи. В печном канале *3* гидравлическим толкателем *4* передвигаются вагонетки *5* с карборундовыми этажерками *6* для установки изделий (например, спаренных чашек *7*).

Топливо сжигается в горелках *8* (или форсунках при использовании жидкого топлива). Топочные газы подаются в каналы под площадки карборундовых этажерок, а затем по печному каналу в зону подогрева и отводятся через окна *9* в размещенные в стенах этой зоны каналы к дымососу.

После обжига изделия охлаждаются воздухом, который подается противотоком из конца зоны охлаждения, и через воздушные завесы, расположенные между этой зоной и зоной обжига. Горячий воздух отбирается через рассредоточенные окна *10*. Вагонетки в печном канале перемещаются по рельсам *11* и возвращаются по рельсам *12*, проложенным на каркасе *2* под печью. Обратная подача вагонеток осуществляется возвратно-поступательным движением штанги *13* с помощью захватов *14*. Вагонетки с верхнего пути на нижний и обратно передаются подъемниками *15* и *16*. Уплотнение вагонеток в печном канале обеспечивается водяными затворами *17*, а не песочными, как в крупногабаритных туннельных печах.

Печной канал у входа отделяется от атмосферы цеха форкамерой *18*, а у выхода шлюзом *19*.

Техническая характеристика (проектная) печи ПАс

Длина печного канала, м	28,4
Ширина печного канала, м	0,98
Используемая высота, м	0,28
Количество вагонеток в печи, шт.	30
Количество чашек на вагонетке при спаренной загрузке, шт.	128
Продолжительность цикла обжига и охлаждения, ч	3
Производительность по загрузке чашек, шт./ч	1280
Максимальная температура обжига, °С	1380—1410
Расход условного топлива, кг/ч	0,85
Мощность электродвигателя, кВт	56

5. МУФЕЛЬНЫЕ ТУННЕЛЬНЫЕ ПЕЧИ

В муфельных печах обжигаемые изделия не соприкасаются непосредственно с топочными газами, а нагреваются путем передачи тепла изделиям через ограждение из огнеупорных муфельных коробок или плит. Вследствие относительно невысокой их теплопроводности процесс нагревания до заданной температуры протекает медленнее, чем в печах прямого действия, и с меньшим коэффициентом теплоиспользования. Поэтому муфельный обжиг получил распространение лишь в тех отраслях промышленности, где при обжиге изделий пламенем могли бы получаться загрязнения глазури продуктами сжигания и ряд других дефектов.

Наиболее простой формой муфельного обжига является обжиг в огнеупорных шамотных коробах-капселях, устанавливаемых в печной камере или на вагонетки туннельных печей в столбы с определенными интервалами для прохождения топочных газов. Хотя шамотные капсели от действия высоких температур довольно быстро разрушаются, однако их регулярная замена по мере выхода из строя не снижает производительности печей.

Муфельные туннельные печи получили преимущественное применение для обжига крупных изделий тонкой керамики, например санитарного фаянса, полуфарфора и низкоспекающегося фарфора, для обжига которых в печах с открытым пламенем потребовались бы весьма объемистые и неустойчивые в обжиге капсели. Муфельные туннельные печи также эффективно используются в массовом производстве плиток, майолики и каменных изделий, покрытых цветными глазурями, и для закрепления красок после декорирования фарфора и фаянса.

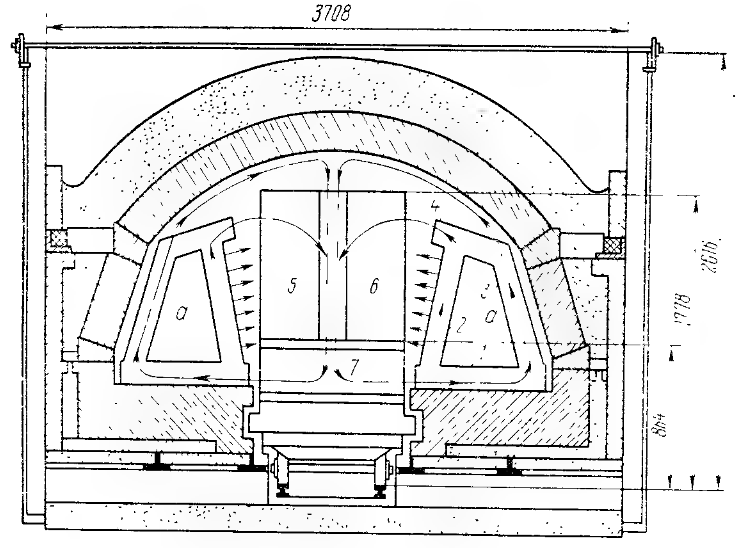


Рис. XII.26. Циркуляция газов в дельтовидных муфелях

Ниже приводятся описания наиболее типичных муфельных печей, применяемых на наших и зарубежных заводах.

Муфельные туннельные печи с дельтовидными муфелями типа Дресслера используются на зарубежных заводах для обжига санитарной керамики и облицовочных плиток. Эти печи имеют длину до 131 м, ширину печного канала до 1,34. Используемая для загрузки изделий высота печного канала составляет 1,9 м, из них 0,15 м занято подставками под огнеупорный каркас вагонетки, на котором устанавливаются изделия. Устройство зон обжига и подогрева в туннельных печах этого типа и их высокая производительность — основное отличие их от других печей с муфельным и полумуфельным нагревом.

Основными конструктивными элементами зоны горения и зоны подогрева являются два канала для циркуляции топочных газов, которые выложены из пустотелых трубчатых элементов вдоль печи. Между этими элементами проходят вагонетки с изделиями.

Четыре пустотелые плиты с отверстиями прямоугольного сечения складываются в один блок и сообщаются через отверстия с печным каналом и между собою (рис. XII.26).

Топочные газы в этих печах проходят с двух сторон вагонеток по газоходам *а*, собранным из плит *1—4*, в которых имеются сообщающиеся каналы для поперечной циркуляции горячего воздуха, омывающего обжигаемые изделия. Тепло топочных газов через тонкие стенки (толщиною около 15 мм) передается воздуху, проходящему через каналы плит *2—4* под свод печного канала. Затем газы опускаются вниз и омывают садку вагонетки *5* и *6* и через канализированный под *7* и каналы плиты *1* возвращаются для повторного нагрева в каналах плит *2—4*.

Муфельные каналы выкладываются на слое крупного песка и не связываются с кладкой стен и свода, чем обеспечивается их свободное расширение при разогреве печи и длительный срок службы (до 15 лет без остановки на ремонт), если конечная температура обжига не превышает 1250 –1300° С.

Стоимость дельтовидных карборундовых и муллитовых муфельных секций ввиду их довольно сложной конструкции высокая. По одному из предложений фирмы «Карборундум и К°» (США) стоимость карборундовых плит на 1 пог. м зоны обжига составляла около 650 долларов, а муллитовых соответственно около 520 долларов.

Если принять для муфельной печи длиной 85 м длину зоны с карборундовыми муфелями 20 м и длину зоны с муллитовыми муфелями 15 м, то стоимость огнеупорных муфелей составила бы около 20 тыс. долларов на одну печь. Поэтому на заводах, где по условиям производства можно ограничиться меньшей производительностью печи и с соответственно меньшими сечениями печного канала, разработаны и успешно работают в производстве разных видов тонкой керамики муфельные печи с однорядными пустотелыми муфельными плитами или с пластинчатыми муфелями.

В туннельной печи с однорядным трубчатым муфелем камеры сжигания топлива ограничены со стороны печных вагонеток стенкой из пустотелых плит *1* (рис. XII.27, *а*), установленных на карборундовых или муллитовых коробках *2*. Эти коробки имеют тонкие стенки со стороны топочных газов, подаваемых горелками *3*, и открыты в сторону обжигаемых изделий. Поэтому раскаленные стенки этих коробок интенсивно излучают тепло в нижнюю часть вагонетки.

Основная часть тепла от топочных газов передается обжигаемым изделиям через стенки трубчатых элементов *1* и коробок *2*. Теплота муфельной стенки, ограничивающей печной канал, излучается непосредственно на изделия *4*. Муфельная стенка, ограничивающая топочный канал, участвует в сложном теплообмене. Часть тепла передается на стенку, ограничивающую печной канал, излучением, а также теплопроводностью через ребра, разделяющие отдельные каналы плиты *1*. Остальная часть тепла, полученного от топочных газов, передается воздуху, циркулирующему в каналах муфельных плит к своду печи, а затем проходящих через садку изделий и канализированный под *5* вагонеток.

Разностью температур воздуха, нагреваемого стенками муфеля и охлаждаемого затем при прохождении через садку изделий, улучшаются поперечные замкнутые потоки раскаленного воздуха в печном канале.

Обусловленный этими потоками конвективный теплообмен способствует выравниванию температуры обжига по ширине печного канала. Для выравнивания температуры садки по высоте используется излучение раскаленной стенки коробки *2*, передаваемое через огнеупорные камни, расположенные под плитой канализированного пода *5* печной вагонетки.

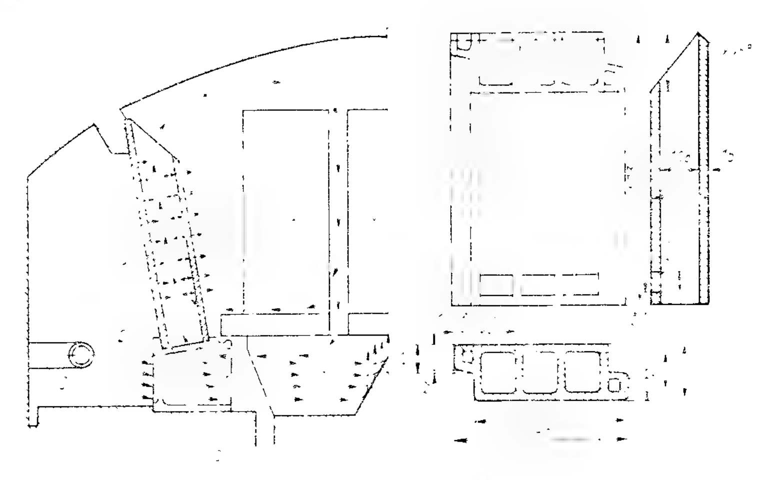


Рис. XII.27. Циркуляция газа в однорядных муфелях:
а — схема циркуляции и нагрева; *б* — конструкция плиты

Масса однорядных карборундовых и муллитовых (в зоне подогрева) муфельных плит (рис. XII.27, *б*) примерно в три раза меньше, чем в печах с дельтовидными муфелями, рассчитанными на многоярусную садку изделий на вагонетках.

Стоимость 1 пог. м карборундовой муфельной зоны из однорядных плит составит по данным фирмы «Свинделл—Дресслер» около 30—40% стоимости 1 пог. м муфельной зоны, оборудованной дельтовидными муфелями.

С однорядными муфелями построены в США печи для одноярусной садки санитарных изделий, не требующей сооружения на вагонетке этажерки из карборундовых плит. При одноярусной садке производительность туннельной печи снижается и повышаются удельные затраты на печной цех. Вместе с тем резко снижается расход карборундового и муллитового припаса и облегчается загрузка вагонеток изделиями.

По мере продвижения топочных газов в зоне подогрева их температура снижается, и в дальнейшем подогрев продукции можно осуществить с некоторым снижением эффективности теплопередачи через муфель, выложенный из муллитовых или шамотных деталей той же формы, что и карборундовые. Далее топочные газы переходят в рекуператоры из чугунных или стальных труб. Последние обла-

дают более высоким коэффициентом теплопередачи, чем шамотные, и не имеют такого большого количества швов, что уменьшает засосы воздуха.

Как в керамическом муфеле, так и в металлическом рекуператоре способ нагрева изделий и направление циркуляции газов не изменяются. Побудителем движения воздуха является естественный гидростатический напор, обусловленный разностью температур воздуха между изделиями и в нагревательных устройствах, тогда

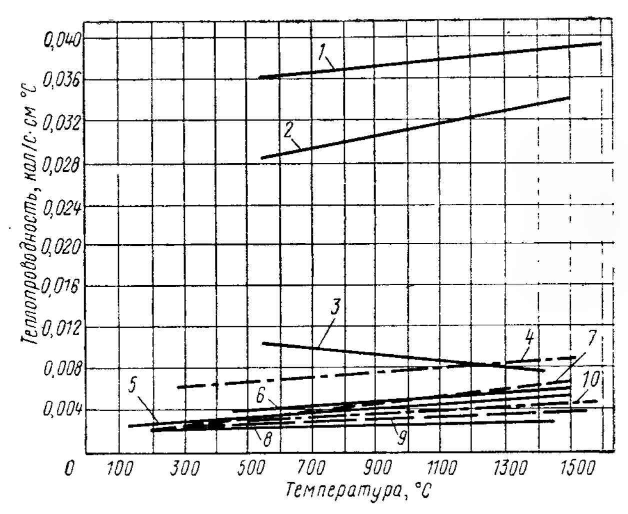


Рис. XII.28. Теплопроводность огнеупорных материалов:

1 — карборунд; *2* — карборунд, 78% SC; *3* — магнезит; *4* — корунд, 90% Al_2O_3; *5* — динас; *6* — хромит; *7* — муллит; *8* — корундолегковес; *9* — шамотный муллитовый огнеупор; *10* — коруид, 85% Al_2O_3

как в печах прямого действия циркуляция горячих газов между изделиями обусловлена интенсивным обменом топочных газов, омывающих продукцию под влиянием тяги вентилятора или дымовой трубы. Слабая циркуляция горячего воздуха в печном канале и воздействие лучистой теплоты раскаленных муфельных элементов лишь на крайние изделия приводят к отставанию нагрева изделий внутри вагонетки; поэтому печи этого типа строятся с узким каналом (не шире 1,5 м).

Обожженные изделия в печах типа Дресслера охлаждаются также муфельным способом.

Муфельные печи при прочих равных условиях (температура обжига, размеры печного канала и др.) стоят дороже печей прямого действия из-за высокой стоимости карборундовых и муллитовых муфельных элементов.

Для удешевления муфельных печей были предложены конструкции муфелей с меньшим расходом карборунда или его заменой динасом и муллитом.

Сопоставляя такие важные свойства огнеупорных материалов, как теплопроводность и коэффициенты термического расширения (рис. XII.28 и XII.29), становится понятным предпочтение, которым пользуется в заводской практике карборунд как материал для изготовления муфельных перегородок и плит для укладки изделий на вагонетках при бескапсельном обжиге.

Для облегчения изготовления муфелей фирмой «Корабедарф» и другими была предложена конструкция горизонтальных муфельных каналов, собранных из ребристых карборундовых плит (рис. XII.30).

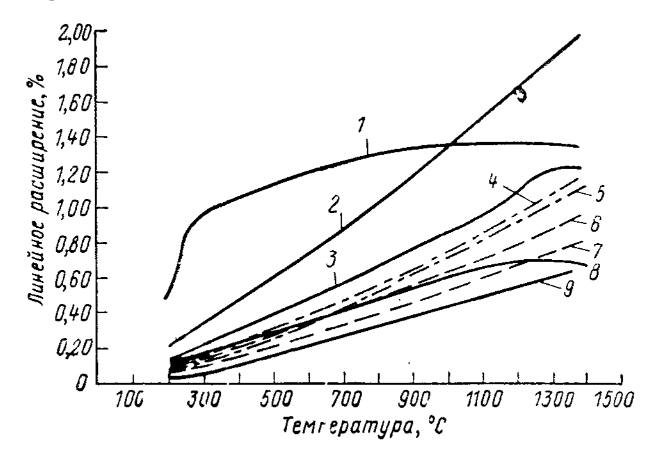


Рис. XII.29. Линейное термическое расширение огнеупорных материалов:

1 — динас; *2* — магнезит; *3* — хромит; *4* — корунд, 85% Al_2O_3; *5* — корунд, 90% Al_2O_3; *6* — шамотный муллитовый огнеупор; *7* — муллит; *8* — шамотный огнеупор; *9* — карборунд

Изготовление плит *1* и *2* простой формы, используемых для кладки горизонтальных каналов *3*, прессованием под высоким давлением упрощает технологию их изготовления [18]. К недостаткам этой конструкции относится горизонтальное направление ребер муфелей в печном канале, а также большое количество швов между плитами, что вызывает смешивание топочных газов с окислительной средой печного канала. Зазоры между плитами влияют на точность регулирования режима обжига изделий. В горизонтальных плитах *4* карборунд не используется для передачи тепла изделиям. По-видимому, эти недостатки послужили причиной отказа от использования этой давно известной конструкции в США, где муфельные туннельные печи получили наибольшее распространение.

В муфельных печах, построенных фирмой «Эллайд и К°» (США), для муфельных перегородок (рис. XII.31, *а*), отделяющих топочные газы от обжигаемых изделий, используются достаточно эффективные и, по-видимому, самые простые по конструкции волнистые карборундовые плиты (рис. XII.31, *б*). Эти плиты, сопрягаемые друг с другом, образуют сплошную стену. Вертикальное рифление муфельного фронта со стороны садки изделий облегчает движение

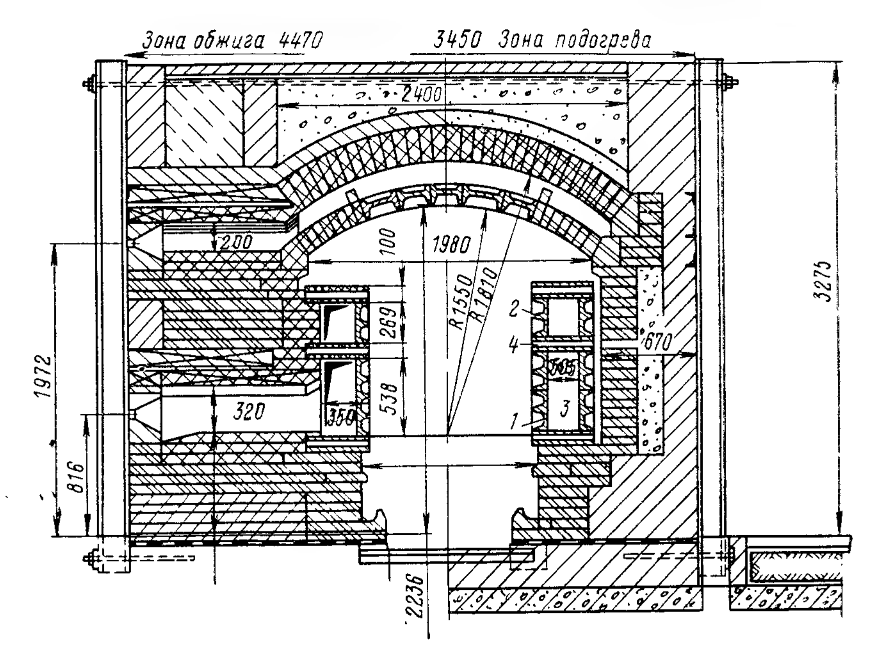


Рис. XII.30. Горизонтальные каналы из плоских плит

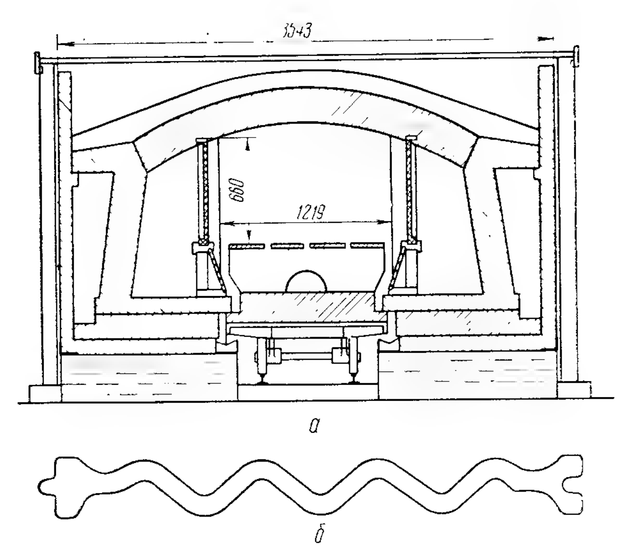


Рис. XII.31. Муфель из волнистых плит:
а — муфельные перегородки; *б* — волнистая плита

горячего воздуха в восходящих потоках, омывающих раскаленную поверхность муфельных плит.

В муфельных печах изделия обжигаются на этажерках из огнеупорных плит и стоек.

Каркас из шамотных плит и стоек отличается большей массивностью, меньшей теплопроводностью, термостойкостью и продолжительностью службы, чем каркас из карборундовых плит.

Поэтому экономически целесообразнее применять карборундовые каркасы вместо шамотных, несмотря на более высокую стоимость карборундовых изделий.

Муфельные туннельные печи используются в США и в Европе преимущественно для обжига санитарных изделий и облицовочных плиток. При изготовлении санитарных изделий и плиток, покрытых цветными глазурями, обжиг в мощных муфельных печах обеспечивает высокое качество продукции и хорошие технико-экономические показатели. Приводим некоторые технические характеристики печей этого типа по данным фирмы «Свинделл-Дресслер» и литературным источникам.

Техническая характеристика муфельной печи для обжига цветных глазурованных (по бисквиту) плиток в открытых капселях

Длина печи, м	85
Длина муфельной зоны обжига и подогрева, м	51
Длина зоны охлаждения, м	34
Количество вагонеток в печи	41
Количество капселей на вагонетке для плиток 100×100 мм	104
Количество плиток 100×100 мм в капселе	30
Количество капселей на вагонетке для плиток 150×150 мм	80
Количество плиток 150×150 мм в капселе	20
Производительность печи в сутки при продолжительности цикла около 38 ч (26 вагонеток в сутки), м²	Около 950

При сопоставлении технико-экономической эффективности муфельных туннельных печей разных типов удельный расход карборундового и муллитового фасонного припаса, а также срок их службы и другие эксплуатационные характеристики имеют важное значение.

Малые муфельные туннельные печи применяются для закрепления красок на фарфоре и фаянсе.

Краски на фарфоре, полуфарфоре и фаянсе закрепляются нагревом изделий до температуры 700—900° С, в зависимости от плавкости красок.

Обжиг раскрашенных изделий производится обычно быстро, в течение 2—3 ч; продолжительность обжига обусловлена главным образом термостойкостью изделий.

К обжигу раскрашенных изделий предъявляются довольно жесткие требования. Атмосфера, в которой закрепляются краски, должна быть окислительной, гарантирующей от восстановления и потемнения красок. Этим требованиям вполне удовлетворял лишь обжиг в муфельных, полумуфельных или электрических печах.

На заводах СССР для обжига раскрашенных изделий широко использовались муфельные туннельные печи с П-образным каналом. Теперь эти печи на многих заводах заменяются более удобными конвейерными муфельными печами.

В полумуфельной туннельной печи системы Н. А. Емельянова, построенной на Хайтинском фарфоровом заводе, для обжига декорированной фарфоровой посуды очищенным генераторным газом муфельный нагрев применяется лишь в топочной зоне. В зоне подогрева изделия обогреваются непосредственно топочными газами, поступающими из муфельной зоны и не содержащих окиси углерода. По конструкции, удобству и выгодности эксплуатации эта печь является одной из лучших современных печей, используемых для обжига раскрашенного фарфора.

Длина участков печи, м:

Прямого печного канала	40
Зоны подогрева	15
Топочной зоны	4,5
Зоны охлаждения	15,5

В печи используются вагонетки обычного типа небольших размеров с шамотным огнеупорным подом. На поду на шамотных кирпичах установлен чугунный каркас, в стойках которого имеются пазы для закладки тонких шамотных пластин (лещадок).

По своей конструкции эта печь в разных вариантах может быть использована для обжига небольших партий изделий и при более высоких температурах, но для этого потребуется кладка топочной зоны из высокоогнеупорных материалов и соответствующая система загрузки вагонеток (капсели или этажерки из высокоогнеупорного припаса).

6. КОНВЕЙЕРНЫЕ ПЕЧИ

Конвейерные печи, применяемые в керамической промышленности, отличаются малым сечением печных каналов и небольшими нагрузками на конвейеры, перемещающие в них малогабаритные изделия.

Конвейеры, работающие в зоне обжига при температурах 800—1200° С, даже при выполнении их из дорогих (а иногда и дефицитных) жароупорных сплавов обычно загружаются в один ярус на легких поддонах или в открытых капселях легкой конструкции (кассетах). На заводах тонкой керамики применяются пламенные и электрические конвейерные печи. Многоканальные муфельные конвейерные печи используются преимущественно в производстве глазурованных облицовочных плиток и работают на жидком топливе, природном газе; применяется также и электрообогрев.

В малогабаритных конвейерных печах обжигаются декорированный фарфор, фаянс и майолика. Построены экспериментальные печи для обжига фарфоровых тонкостенных чашек при температуре 1300—1350° С на шагающем транспортере.

Обжиг на природном газе или жидком топливе стоит дешевле электрического обжига и потому конвейерные печи с непосредственным или муфельным обогревом газообразным или жидким топливом имеют в производстве хозяйственного фарфора, фаянса и майолики более благоприятные перспективы их эксплуатации при организации механизированных поточных линий, чем электрические.

Основные назначения конвейерных печей — низкотемпературный скоростной обжиг малогабаритных тонкостенных изделий, когда малая емкость канала конвейерной печи компенсируется соответствующим сокращением продолжительности обжига. Для обжига при температуре 700—1100° С используются печи с роликовыми, полочными или ленточными (сетчатыми) транспортерами из жароупорных сплавов.

Для сетки, работающей при температуре до 800° С, используется, например, проволока (ГОСТ 5548—50), изготовляемая из жароупорной стали марки Х23Н13 (ГОСТ 5632—51). Для изготовления секций роликового транспортера, работающего в зоне обжига при температуре до 1100° С в печах, сконструированных специалистами Дулевского завода, используются сплавы с высоким содержанием никеля и хрома.

Трубчатые ролики из высокоогнеупорных материалов (например, муллитовые и корундомуллитовые) могут успешно работать и при более высоких температурах.

В шагающих транспортерах конвейерных печей температурные пределы их применения определяются лишь огнеупорностью, а главное термостойкостью огнеупорных плит или капселей, используемых для укладки изделий при перемещении в печном канале. Конвейерные печи отличаются меньшим, чем в больших туннельных печах, расходом рабочей силы на загрузку и разгрузку изделий, когда в механизированных непрерывно-поточных линиях изделия автоматически передаются из предшествующей операции на конвейер печи, а из нее на конвейер последующего процесса.

При одноярусной загрузке конвейера изделиями достигается более равномерная, чем в печах с большим сечением, температура обжига. Благодаря этому преимуществу в конвейерных печах из цикла обжига исключается время, необходимое для выравнивания температуры по сечению печного канала. Поэтому в конвейерных печах достигается существенное сокращение времени обжига, особенно при открытом обжиге мелких и тонкостенных изделий. В производстве таких изделий, как тонкостенные фарфоровые чашки или фаянсовые глазурованные плитки, продолжительность бескапсельного обжига по сравнению с обжигом в мощных туннельных печах можно уменьшить в несколько раз.

Вместе с тем конвейерные печи имеют и ряд недостатков, ограничивающих в настоящее время их применение на отечественных и зарубежных керамических заводах.

При одноярусной загрузке изделий конвейерные печи по производительности и экономичности даже при резком сокращении в них

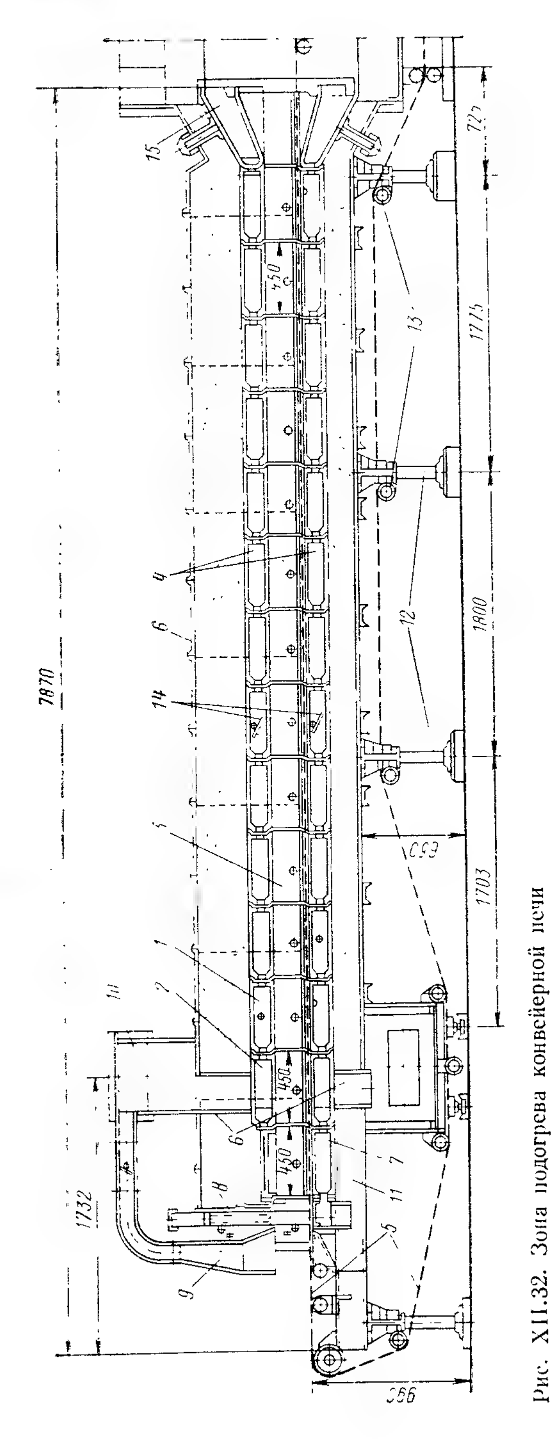


Рис. XII.32. Зона подогрева конвейерной печи

продолжительности обжига уступают туннельным печам современных конструкций.

При включении конвейерных печей в непрерывно-поточные линии все связанные с обжигом технологические процессы выполняются в трехсменном режиме. В туннельных печах имеется на третью смену запас загруженного на вагонетки полуфабриката и потому, кроме малочисленного обслуживающего печи персонала, весь завод может работать в две смены.

При скоростных и высокотемпературных режимах обжига конструкционные материалы, используемые для конвейеров (жароупорные сплавы, огнеупорные и термостойкие плиты или капсели), должны обеспечивать длительную бесперебойную работу конвейерных печей во избежание простоев связанных с ними непрерывно-поточных линий.

Конвейерные печи, как и туннельные, непрерывно совершенствуются. Конкурентоспособность этих печей в конечном счете определяется экономическими показателями их работы при обжиге разных изделий в заводских условиях.

В настоящее время преимущественная область применения конвейерных печей — низкотемпературный обжиг при температуре 700—1100° С малогабаритных изделий, допускающих скоростные режимы обжига без ущерба для качества получаемой продукции.

Приводим описание и технические характеристики типичных пламенных и электрических конвейерных печей.

Конвейерная муфельная печь с ленточным транспортером. Конвейерные муфельные печи с ленточным транспортером из жароупорной сетки применяются для обжига декорированной фарфоровой и фаянсовой посуды при температуре до 800° С. Защита изделий от непосредственного воздействия пламени надежно обеспечивает в печном канале окислительную среду, необходимую для получения ярких рисунков, нанесенных керамическими красками.

Печь монтируется из стандартных узлов, используемых в конвейерных печах для отжига стекла. В печах для закрепления красок применяется сетчатая лента из более жароупорных сплавов, например стали марки Х23Н13.

Печь имеет канал длиной 19,55 м, шириной 1,09 м и высотой (в свету, над лентой транспортера) 0,22 м.

Зона подогрева имеет длину 5,54 м; в основном смонтирована из 12 чугунных блоков *1* (рис. XII.32) и блока *2* с печным каналом *3* и дымовыми каналами *4*.

Через печной канал *3* ленточным транспортером *5* подаются изделия через зону подогрева в зону обжига. Через каналы *4* навстречу изделиям подаются дымовые газы из зоны обжига. Дымовые газы через стенки блоков *1* постепенно нагревают изделия и затем удаляются в атмосферу через патрубки в блоке *2*. Блоки *1* и *2* изолированы в коробе *6* диатомитовой засыпкой и замыкаются у входной части коробкой *7* с шибером *8*, высота подъема которого устанавливается в соответствии с высотой обжигаемых изделий. Труба *9* предназначается для удаления газов, выделяющихся при разложении органических связок в керамических красках, и присоединяется к общей вытяжной системе. Чугунные блоки печного канала и короб для теплоизоляции смонтированы на раме из швеллерных балок *10* и уголков *11*, установленной на колонках *12*. На этих же колонках смонтированы поддерживающие ролики транспортера *13*. В дымовых каналах *4* установлены поворотные заслонки *14* для регулирования проходивших топочных газов, а следовательно, и температуры по сечению муфельного канала.

Зона подогрева присоединяется к зоне обжига переходным чугунным блоком *15*.

Зона обжига имеет длину 7,02 м. Стены, свод и под зоны выложены из шамотного кирпича класса Б.

Стены и под изолированы шамотным легковесом, а свод — диатомитовой засыпкой. На шамотных подставках *1* (рис. XII.33) выложен из шамотных плит *2* муфельный канал, через который транспортером *3* по роликам *4* подаются изделия из зоны подогрева.

В конце зоны обжига устроены четыре газовых топки *5* с горелками ГИП-3 для природного газа. Пламя из двух нижних топок подается в нижние каналы *6*, обогревающие под муфеля, а из верхних — в каналы *7*, обогревающие свод муфеля. Топки и подставки *8*

Рис. XII.33. Зона обжига конвейерной печи

в прилегающей к ним части зоны сложены из шамотного кирпича класса А.

Зона охлаждения смонтирована из чугунных блоков *1* (рис. XII.34) подобно блокам зоны подогрева. Воздух, охлаждающий изделия, проходит по каналам *2* блоков *1* и удаляется вентилятором через короб *3*. Привод ленточного транспортера состоит из электромотора *4*, клиноременной передачи *5*, редуктора *6*, зубчатой передачи *7* и ведущего барабана *8*.

Натяжение сетчатой ленты *9*, вытягивающейся под влиянием высокой температуры в зоне обжига, регулируется натяжным блоком *10*.

Техническая характеристика муфельной конвейерной печи

Габарит, м:	
длина	23,75
ширина	2,26
высота	2,54
Сечение печного канала, мм	1090×220
Длина печного канала, мм	19 550
Скорость движения ленты транспортера, м/мин	0,021—0,4
Расход тепла в сжигаемом газе, ккал	350 000
Расход воздуха, м³/ч	10 000
Давление воздуха перед горелкой, Па (мм вод. ст.)	2451 (250)
Мощность электродвигателя привода, кВт	0,5
Отдача тепла в цех, ккал/ч	Около 90 000

Конвейерная муфельная печь с роликовым транспортером. В конвейерных печах 19,5×1,09×0,22 м с ленточным сетчатым транспортером срок службы сетки при

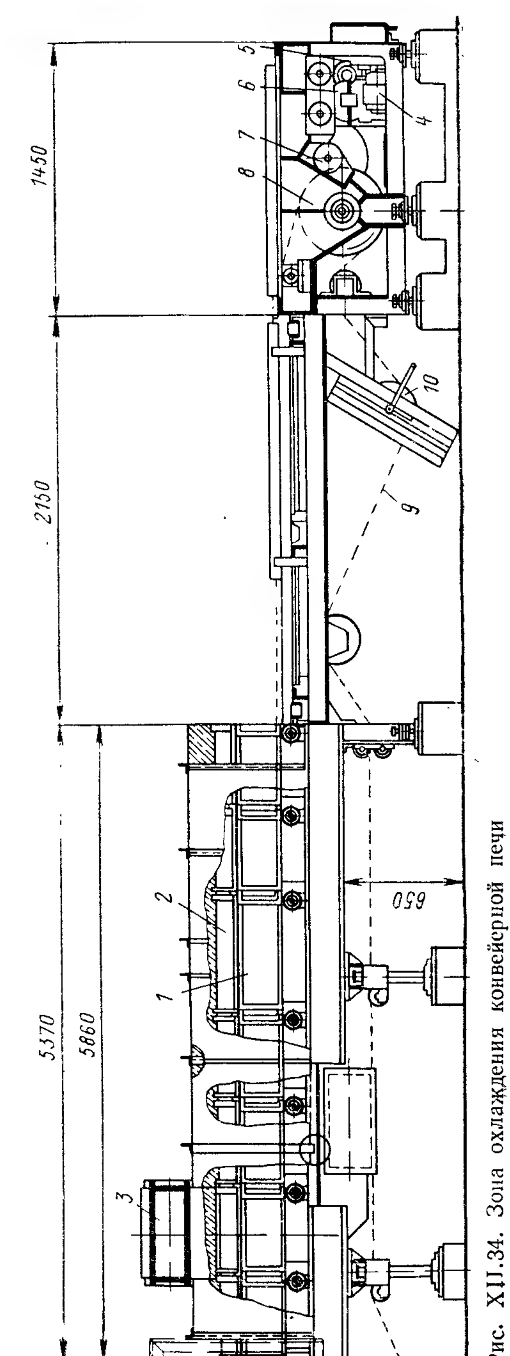


Рис. XII.34. Зона охлаждения конвейерной печи

увеличении нагрузки и повышении температуры в печи выше 800° С начинает резко снижаться.

В целях повышения производительности конвейерных печей вместо сетчатого конвейера с одноярусной загрузкой применяют роликовый конвейер печи конструкции Дулевского завода для многоярусной загрузки на поддонах из жароупорной стали или из специальной термостойкой кордиеритовой керамики. В зоне обжига применяются ролики из жароупорной стали с высоким содержанием никеля и хрома или керамические, а в зоне подогрева и охлаждения из более дешевых сортов низколегированной и углеродистой стали. Максимальная температура в печах с роликовыми конвейерами определяется температурой, при которой начинается пластическая деформация роликов под действием изгибающих нагрузок от обжигаемых изделий и поддонов.

Роликовые конвейерные печи, спроектированные для обжига при конечной температуре 950° С и транспортирования изделий на поддонах, могут успешно работать при бесперебойной эксплуатации конвейера.

Зона подогрева печи — 9,29 м, зона обжига — 13,57 м и зона охлаждения — 10,12 мм.

По всей длине печи в канале выложен муфель из фасонных плит, отделяющих обжигаемые изделия от топочных газов, проходящих по каналам. Муфель в зоне охлаждения собран из стальных плит, а в зоне обжига и подогрева — из шамотных.

Через отверстия в кладке боковых стен проходят ролики конвейера, смонтированные на шариковых опорах.

В зоне обжига установлено по четыре пары верхних и нижних горелок для обогрева свода и пода муфельной коробки, пять пар дополнительных нижних горелок, предназначенных для выравнивания температуры в нижней части загрузки изделий на поддонах.

Роликовый конвейер имеет длину 39,55 м, из которых 2,3 м используется вне печного канала для загрузки и разгрузки поддонов с изделиями.

Нижняя ветвь конвейера служит для возврата поддонов. Она смонтирована из стальных роликов и установлена под печью.

Техническая характеристика муфельной роликовой печи

Длина двухъярусного роликового конвейера, м	33,55
Количество роликов в канале печи	176
Диаметр роликов, мм	76
Длина печного канала, м	29
Ширина печного канала, м	1,13
Высота канала от роликов конвейера до замка свода, м	0,27
Размеры поддонов, мм	480×1000
Количество поддонов:	
в канале	58
по ширине канала	2
по длине канала	29
Температура обжига, °С	950
Масса печи без фундамента, т	116

Верхняя и нижняя ветви конвейера имеют самостоятельные цепные приводы, частота вращения которых регулируется в зависимости от установленной продолжительности обжига изделий.

Конвейерные печи для обжига глазурованного фарфора при температуре 1350—1400° С не получили еще широкого применения в производстве хозяйственного фарфора и строятся лишь экспериментальные установки, хотя давно уже была указана теоретическая возможность скоростного обжига тонкостенных изделий (чашек, блюдец) — в течение 3—5 ч.

Отсутствие надежных и экономичных в эксплуатации конвейерных печей для политого обжига фарфора объясняется главным образом тяжелыми условиями службы конвейера в зоне высоких температур при быстром нагреве и охлаждении огнеупорных его элементов в зонах подогрева и охлаждения. Приводим описание экспериментальных печей, построенных на заводах УССР.

На основе изучения работы экспериментальной печи с шагающим подом, построенной на Городницком фарфоровом заводе, была спроектирована и сооружена конвейерная печь в непрерывно-поточной линии Полтавского фарфорового завода.

Печь рассчитана на однорядный, однократный [6] бескапсельный обжиг чашек, блюдец и тому подобных тонкостенных малогабаритных фарфоровых изделий с непосредственным нагреванием мазутом или природным газом. Изделия устанавливаются на двух рядах огнеупорных плит размерами 500×300 мм. Толщина плит от 20 до 30 мм в зависимости от свойств используемых для их изготовления материалов.

Плиты перемещаются в печном канале шагающим конвейером, две балки которого совершают возвратно-поступательные движения в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Балки футерованы огнеупорными блоками.

В интервалах между очередными перемещениями плиты с изделиями лежат на неподвижном поду и на выступах стен печи.

Возвратно-поступательное движение шагающих балок выполняется нижним и верхним гидравлическими цилиндрами. Гидроцилиндры работают от общего насоса и управляются золотниками командоаппарата. В работе коротких щелевых печей наибольшие затруднения возникают при регулировании состава газовой среды в отдельных зонах печи.

При обжиге фарфора окислительную среду в начале зоны подогрева и восстановительную среду в конце зоны подогрева трудно разграничить. При небольшой длине окислительной и восстановительной зон стабилизация состава печных газов в этих зонах также сопряжена с затрундениями, не встречающимися в длинных туннельных печах [10].

Продолжительность нагрева и охлаждения тонкостенного хозяйственного фарфора в конвейерной печи зависит не столько от процессов спекания и охлаждения фарфора, сколько от термостойкости огнеупорных плит, используемых для транспортирования изделий в печном канале.

Техническая характеристика конвейерной экспериментальной печи с шагающим подом для обжига фарфора на природном газе

Габарит печи, м:	
длина	28
ширина	2,3
высота	3,1
Размеры печного канала, м:	
длина печного канала	24
длина безвходной и выходной камер	21
ширина	0,97
высота	0,26
Количество горелок ГНП-2, шт.	10
Размеры карборундовых плит шагающего транспортера, мм	500×450×30
Количество плит в канале (в два ряда)	96
Мощность моторов, кВт	28
Годовая расчетная производительность печи при однорядном обжиге чашек с пятичасовым режимом, млн. шт.	3
Расход природного газа Шебелинского месторождения, Нм³/ч	25
Удельный (расчетный) расход условного топлива, кг/кг	0,43
Расход электроэнергии (расчетный) на 1000 чашек, кВт·ч	70
Расход воды для водяного затвора, л/ч	40
Количество работающих на загрузке и выгрузке изделий, контроле и регулировании работы печи, чел.	13

От качества плит шагающего транспортера в значительной мере зависят бесперебойность и экономичность работы конвейерной печи. При низкой оборачиваемости плит резко увеличиваются расходы на их замену. К растрескавшимся плитам в зоне обжига прилипает глазурованный фарфор, что ведет к простоям в работе. Поэтому работы по созданию новых, высокоогнеупорных плит являются важными.

В таких плитах давно нуждаются как конвейерные, так и туннельные печи [5].

Устройство карборундовых плит из двух частей, сопрягаемых замком типа «ласточкин хвост», позволило повысить срок их эксплуатации и оборачиваемость в работе.

Многоканальные конвейерные электропечи. Равномерные нагрев и охлаждение изделий при одноярусной, а часто и однорядной загрузке изделий в канал (туннель) позволяет резко снизить продолжительность обжига малогабаритных тонкостенных изделий, например фарфоровой, фаянсовой и майоликовой посуды, глазурованных плиток и тому подобных изделий.

Несмотря на снижение продолжительности обжига одноканальная печь остается экономически невыгодной вследствие малой производительности, плохого использования заводской площади и увеличения потерь тепла в окружающую среду по сравнению с каналами большего сечения.

Поэтому для увеличения производительности труда и сокращения теплопотерь в современных конвейерных печах часто множество каналов (до 48) объединяют в одном блоке, а при электронагреве используют встречный поток обжигаемых изделий.

В виде примера приводим описания устройства и работы электропечей, изготовляемых итальянскими фирмами «Сити» и «Броун-Бовери».

Конвейерная 12-канальная печь «Сити» для обжига хозяйственного фарфора. Эта печь (рис. XII.35) используется для обжига фаянса или фарфора с невысокой температурой спекания, а также глазурованных плиток.

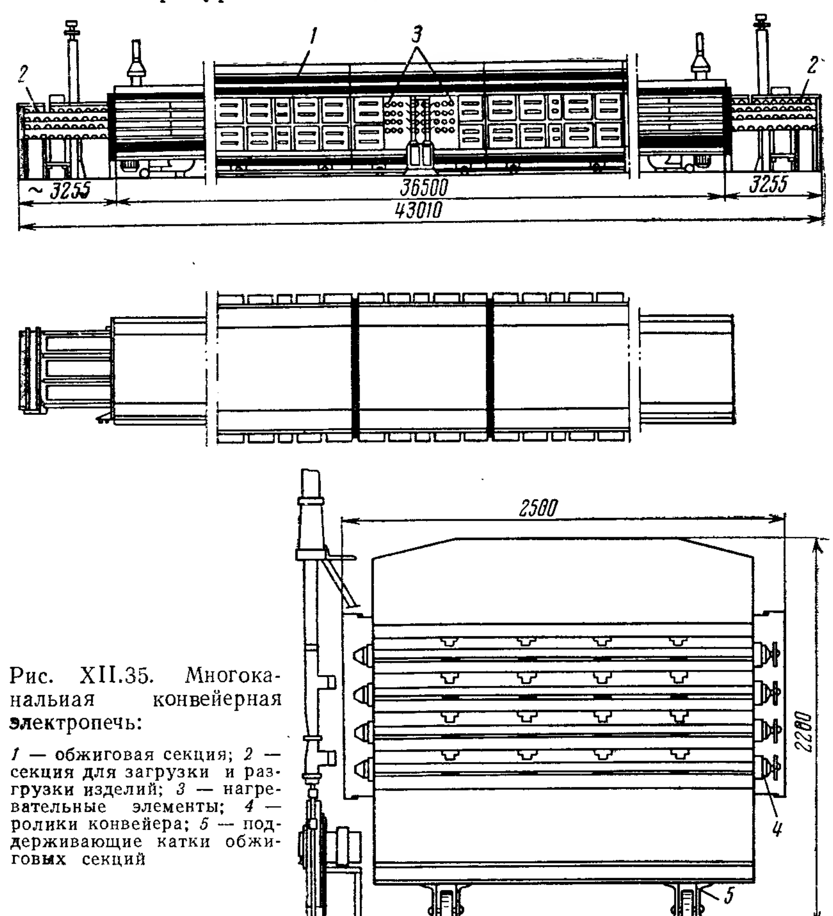


Рис. XII.35. Многоканальная конвейерная электропечь:

1 — обжиговая секция; *2* — секция для загрузки и разгрузки изделий; *3* — нагревательные элементы; *4* — ролики конвейера; *5* — поддерживающие катки обжиговых секций

Печь имеет 12 обжигательных каналов длиной 36,5 м, шириной 370 мм и высотой 115 мм. Каналы размещены в четырех ярусах, по три канала в каждом. Изделия перемещаются в каналах роликовыми конвейерами на легких поддонах встречными потоками: первый и третий ярусы в одном направлении, а второй и четвертый — в другом. Печь выполнена в виде сборной конструкции, состоящей из семи обжиговых секций и двух открытых концевых секций для загрузки и разгрузки изделий (рис. XII.36). Секции смонтированы в стальных каркасах, которые имеют катки, позволяющие секциям

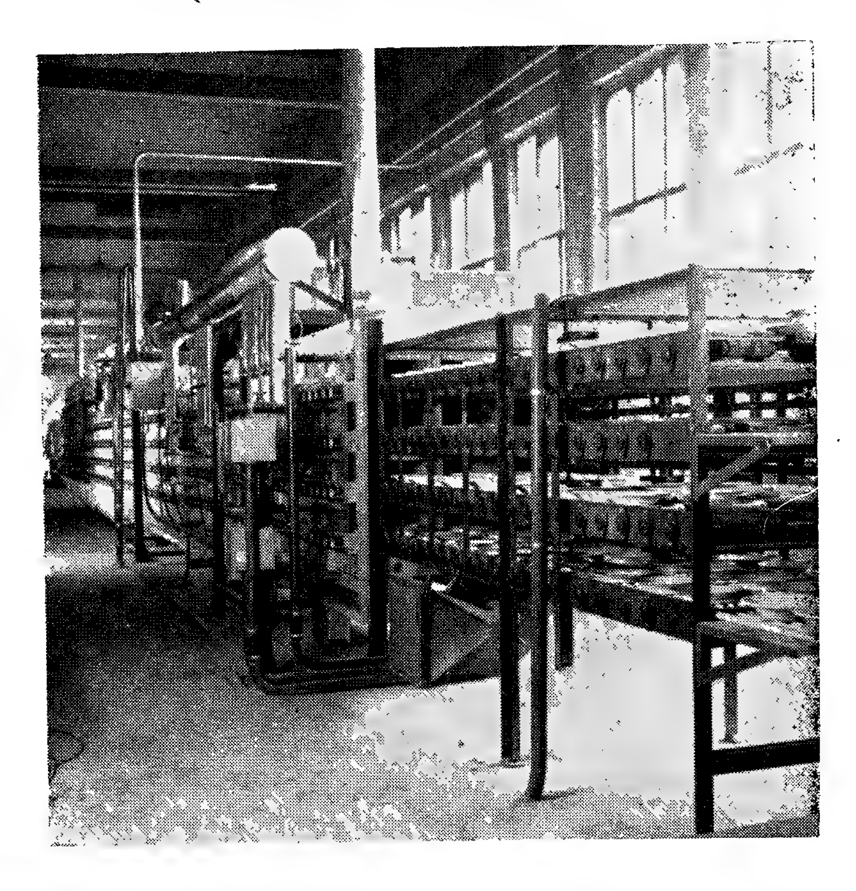


Рис. XII.36. Открытая концевая секция

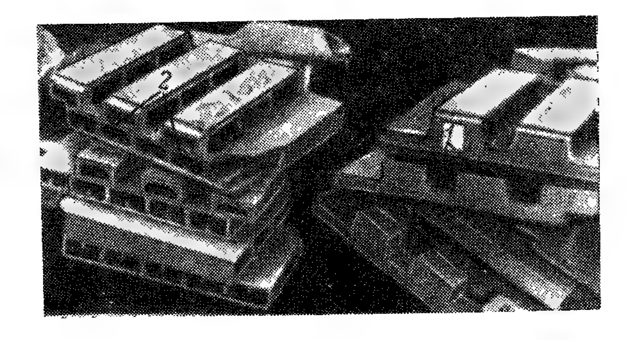


Рис. XII.37. Огнеупорные камни для футеровки

перемещаться вследствие теплового расширения при разогреве печи.

Печные каналы выложены из пустотелых огнеупорных камней, в которых оставлены проемы *1* (рис. XII.37) для роликов конвейера *2* и для укладки в них нагревательных стержней. Плиты *а* не имеют отверстий для стержней, так как они предназначены для зон подогрева и охлаждения, где для нагрева изделий используется лишь тепло встречного охлаждаемого потока. Наружные ограждения секций имеют эффективную теплоизоляцию.

Роликовый конвейер каждого яруса состоит из 216 роликов и

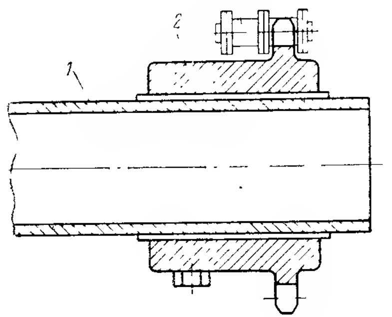


Рис. XII.38. Стальной ролик конвейера

Рис. XII.39. Высокоглиноземистый ролик конвейера

обслуживает три канала. В зонах нагрева и охлаждения применяются металлические ролики (трубы) длиной 2000 мм и диаметром 50 мм. На одном конце ролика *1* (рис. XII.38) закреплена звездочка *2* для цепного привода *3* конвейера. В зоне обжига, где температура выходит за пределы устойчивости металлических роликов, используются высокоглиноземистые трубчатые ролики *1* (рис. XII.39) диаметром 50 мм, свободно катящиеся на катках *2*. Катки *2* монтируются с помощью фланца *3* на продольной балке *4* каркаса печи.

Такое устройство роликового конвейера позволяет быстро заменять его по мере износа. Расстояние между осями роликов 170 мм, чем обусловливается длина поддонов, на которые загружаются подаваемые в печь изделия. Поддон (рис. XII.40) длиной 520 мм опирается минимум на три ролика конвейера. Поддоны изготовляются из кордиеритовой термостойкой керамики в виде тонкой (5 мм) плиты шириной 356 мм с ребрами жесткости высотой 12 мм.

Тарелки и тому подобные фарфоровые изделия с высоким содержанием плавней и спекающиеся при температурах, не превышающих 1200° С, укладываются в один ряд на карборундовых подкладках, покрытых глиноземистой промазкой. Для электрических печей с невысокими температурами и скоростными режимами обжига термостойкие кордиеритовые поддоны, отличающиеся в этих условиях высокой оборачиваемостью (свыше 100 циклов), оказались наиболее экономичными.

В зоне обжига в пазах футеровки уложены электронагреватели из хромсферроалюминия типа «кантал», регулированием температуры которых определяется конечная температура обжига изделий и продолжительность процесса спекания фарфора при однократном обжиге или плавления глазури при двукратном обжиге фарфора или фаянсовых плиток. Подогрев и охлаждение изделий происходит за счет рекуперации тепла охлаждаемых встречных потоков изделий

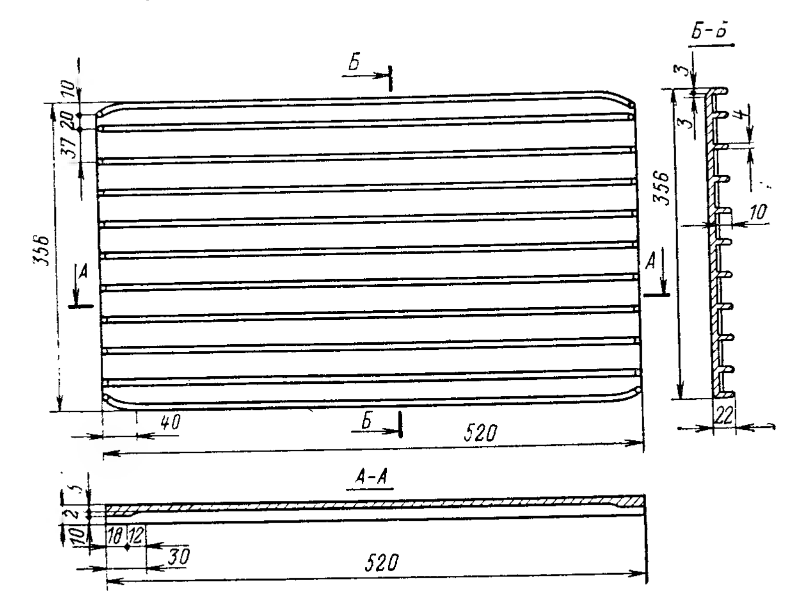


Рис. XII.40. Термостойкий поддон

и поддонов. В целях снижения до минимума потерь тепла с отходящими газами из этих зон отбирается минимальное количество воздуха, необходимое лишь для удаления выделяющейся из изделий влаги.

Характерные для электропечей, работающих по принципу противотока, кривые температур нагрева и охлаждения изделий показаны на рис. XII.41.

12-канальная печь, используемая на заводе «Себринг» (Италия) для обжима глазурованных тарелок после предварительного обжига до 720° С имеет следующие основные характеристики.

Техническая характеристика 12-канальной печи

Температура обжига, °С	1180
Продолжительность обжига, ч	3
Мощность, потребляемая электронагревателями, кВт	340
Установочная мощность для печей этих размеров по данным фирмы «Сити», кВт	450—500
Мощность привода конвейера и шести вентиляторов, кВт	10
Расход электроэнергии на 1 кг изделий, кВт·ч	0,6—0,7

Конвейерные электропечи «Сити» для обжига плиток. Эти печи применяются на некоторых зарубежных заводах для первого и второго обжига облицовочных глазурованных плиток, а также плиток для полов и облицовки фасадов.

Печи работают по описанной выше схеме электрической печи для обжига посуды, а в конструкции отличаются количеством и размерами каналов, приспособленных к разным условиям загрузки обжигаемых изделий. Печи для первого обжига облицовочных фаянсовых плиток изготовляются фирмой «Сити» с 36 и 48 каналами.

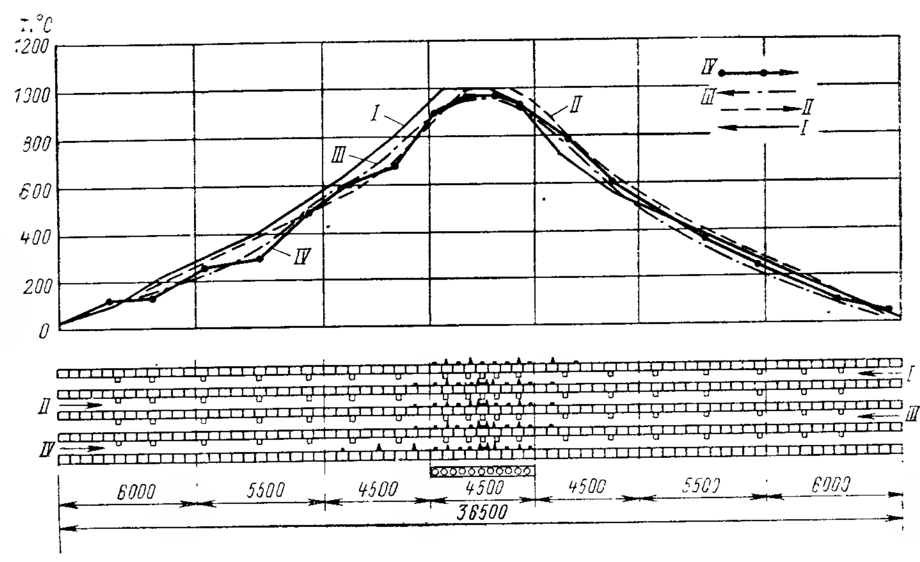


Рис. XII.41. Кривые обжига и охлаждения в многоканальной электропечи

Плитки укладываются стопками в зависимости от толщины по 12—20 шт. на карборундовые поддоны толщиной до 25 мм и перемещаются в муфельных каналах печи по роликовому конвейеру. В зоне обжига муфельные каналы выложены из муллитовых плит, которые имеют гнезда для укладки в них нагревателей из контала.

При использовании этих нагревательных элементов температура достигает 1250° С. Однако в целях сокращения удельного расхода и электроэнергии и увеличения срока службы нагревательных элементов на заводах используют керамические массы с высоким содержанием плавней и пониженными температурами обжига.

Завод, поставляющий многоканальные электропечи, определяет удельный расход энергии при обжиге до 1100° С и продолжительности цикла 40 ч, равный 5 кВт·ч на 1 м² бисквитных плиток. Второй обжиг плиток (глазурованных) производится в печах, по конструкциям похожих на описанные выше, но приспособленных для перемещения по роликам плиток, уложенных в один ярус на тонкостенные (3,5 мм) кордиеритовые ребристые поддоны. На одном поддоне укладывается шесть плиток размером 150×150 мм.

Техническая характеристика печи для обжига глазурованных плиток

Длина печи, м	37
Количество каналов (в четырех ярусах)	12
Температура обжига, °C	1050—1180
Продолжительность обжига, ч	3—3,5
Годовая производительность, тыс. м²	Около 300
Расход энергии на 1 кг обожженного материала, кВт·ч	0,4
Установленная мощность для нагрева, кВт	450
Мощность приводов, кВт	18
Количество плиток в 12-канальных печах, м²	120

Многоканальная электропечь «Браун-Бовери». Такая печь установлена в Чехословакии для обжига глазурованных плиток. Отличается от печей с однослойной подачей плиток большей высотой каналов, загрузкой плиток в двойных кассетах и отсутствием роликовых конвейеров для их перемещения.

Рис. XII.42. Кассета для загрузки глазурованных плиток

Кассеты *1* (рис. XII.42) изготовляются из шамотной огнеупорной или кордиеритовой (при скоростных режимах обжига) массы и устанавливаются в пазах огнеупорных поддонов *2*, которые одновременно проталкиваются через каналы двумя гидравлическими толкателями. Рама толкателя имеет колодки, упирающиеся в керамические поддоны и через заданное время перетакливающиеся в канале на одну позицию, преодолевая их трение о под канала. Каналы отделяются друг от друга горизонтальными плитами толщиной 30 мм и вертикальными толщиной 150 мм. Печь обогревается 126 нагревательными спиралями из кантала, установленными в вертикальных каналах зоны обжига, и 24 нагревателями, установленными в горизонтальных каналах двух зон подогрева (нижних ярусов). Спирали смонтированы на сборных огнеупорных стержнях и легко заменяются по мере износа.

Техническая характеристика многоканальных электропечей со скользящими поддонами

Габарит печи, м:	
длина	11,6
ширина	3,78
высота	2
Количество каналов в шести ярусах	36
Ширина каналов, мм	230
Высота каналов, мм	200
Температура обжига, °C	1050—1100
Продолжительность обжига (цикла), ч	17,5
Количество поддонов в канале	70
Количество плиток на поддоне	10
Годовая производительность, тыс. м²	300
Установленная мощность нагревателей, кВт	280

Многоканальные щелевые электропечи компактны и удобны в отношении автоматизации регулирования режима обжига. Основным недостатком этих печей является более высокая стоимость электронагрева по сравнению с обжигом на природном газе. Встречные потоки полуфабриката, хотя и дают некоторую экономию электроэнергии, но обусловливают одинаковые скорости нагрева и охлаждения по режимам, которые приемлемы лишь при обжиге плиток и им подобных тонкостенных изделий. Второй недостаток встречных потоков полуфабриката в каналах печи — более сложная организация непрерывно-поточных линий при использовании этих печей. В этом отношении большими преимуществами отличается многоканальная конвейерная печь полумуфельного типа с газовым нагревом, установленная на Воронежском заводе для обжига глазурованных фаянсовых плиток.

Многоканальная газовая конвейерная печь «Сити». В этой печи во всех каналах плитки перемещаются конвейерами в одном направлении, что хорошо увязывается с потоком полуфабриката в смежных процессах. Независимое регулирование температур в зонах подогрева и охлаждения позволяет выбрать оптимальные скоростные режимы обжига для разных изделий. Снижение затрат от замены электронагрева на газовый нагрев и возможность переоборудования топочной зоны для сжигания жидкого топлива вместе с отмеченными другими достоинствами этой печи должны привести к замене ими других, менее экономичных конвейерных печей.

Многоканальные газовые конвейерные печи «Сити» установлены на Воронежском заводе керамических изделий для обжига глазурованных фаянсовых плиток. По заказу МПСМ СССР была сконструирована фирмой «Сити» многоканальная конвейерная печь, работающая на газообразном топливе. Как и описанные выше многоканальные электропечи, газовая печь состоит из девяти транспортабельных секций, которые изготовляются на машиностроительном заводе, а на керамическом заводе производится лишь сборка печи и ее регулирование в пусковой период. По сравнению с многоканальными конвейерными электропечами «Сити» эта печь имеет ряд существенных преимуществ: изделия загружаются в одном конце печи и выгружаются в другом; поток обжигаемых плиток удобно и просто сочетается с предшествующими и последующими процессами механизированных и автоматизированных линий. (В электропечах же вынужденные встречные передвижения плиток не позволяют рационально организовать производственные поточные линии на современных заводах.) Использование газа вместо электричества дает большой экономический эффект. В электропечах температура

обжига изделий лимитируется сроком службы нагревательных элементов (кантал и другие сплавы) в пределах 1100—1200° С, что ограничивает область применения этих печей. В газовых конвейерных печах при использовании высокоогнеупорных керамических роликов и более огнеупорной футеровки можно повысить температуру обжига и расширить область применения конвейерных печей при благоприятных технико-экономических результатах их эксплуатации.

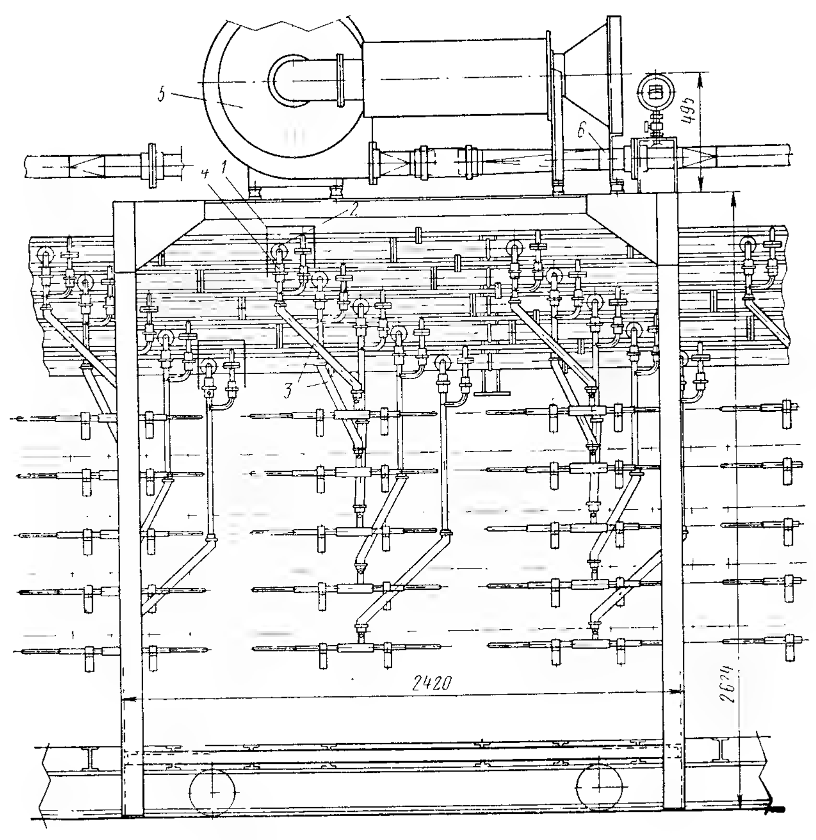


Рис. XII.43. Размещение горелок и газопроводов:

1 — узел смешения воздуха и газа; *2* — горелки; *3* — газопроводы; *4* — регуляторы смешения воздуха и газа; *5* — вентилятор подачи воздуха для охлаждения; *6* - воздухопровод

Две построенные фирмой «Сити» газовые печи Воронежского завода наследовали от электропечей этой фирмы компактность и легкость конструкции. Основные изменения внесены в конструкцию зоны сбжига. В каналах огнеупорных плит, разделяющих роликовые конвейеры смежных ярусов печи, размещены вместо нагревательных спиралей камеры для сжигания подаваемой из микрогорелок смеси газа с воздухом. Размещение горелок газопроводов

в газовой печи показано на рис. XII.43. На рис. XII.44 показано устройство сопла, подающее газовоздушную смесь в камеры сгорания.

Печь имеет двенадцать каналов, размещенных в четырех ярусах, разделенных огнеупорными плитами, поэтому имеется возможность в известной мере регулировать температуру обжига в каждом ярусе, если в одной печи потребовалось бы обжигать изделия разного ассортимента. Четное количество ярусов в электропечах «Сити» обусловлено встречным движением изделий. В газовых печах каналы можно

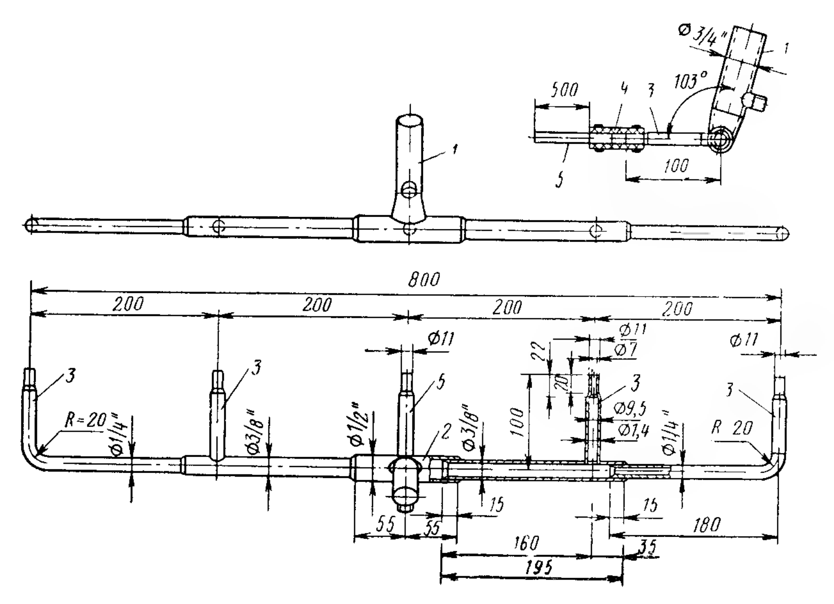


Рис. XII.44. Устройство для подачи смеси газа и воздуха в камеры сгорания

размещать в трех, пяти и семи ярусах в зависимости от потребной производительности печи. Загрузка плиток в газовые печи на Воронежском заводе производится автоматически с полочных контейнеров. Контейнер состоит из трех отделений, в которых размещено по 40 штампованных полок, предназначенных для автоматической загрузки лещадок. На каждой лещадке размером 475×360 мм размещается шесть плиток 150×150 мм. Контейнер загружается в течение 10—12 мин.

Переключением привода роликового конвейера можно регулировать продолжительность обжига в широких пределах в зависимости от состава массы и глазури изделий. Плитки на основе разработанных заводом масс и глазурей обжигаются в конвейерных печах в течение 4 ч 15 мин. Качество выпускаемой продукции высокое. Эксплуатация роликового конвейера в зоне с температурой выше 1100° С при использовании роликов из жароупорной стали становится ненадежной вследствие их деформации.

Сплавы с высокой жароупорностью весьма дороги и дефицитны. Поэтому в зоне обжига целесообразно использовать керамические (муллито-корундовые) ролики, изготовление которых освоено на Воронежском заводе и в институте ВНИИСП. Газовые многоярусные конвейерные печи Воронежского завода, построенные в 1970 г., работают бесперебойно и выпускают глазурованные фаянсовые плитки высокого качества.

Использование недорогого топлива, высокое качество обжигаемых изделий, возможность использования керамических роликов вместо роликов из дорогих сплавов, большая при прочих равных условиях (температура и продолжительность обжига) производительность в одном агрегате являются важными преимуществами этих печей по сравнению с другими конвейерными печами.

Техническая характеристика газовой многоканальной конвейерной печи

Длина печи, м	40,8
Число каналов	12
Количество ярусов и ветвей конвейера	4
Длина каналов, м	35,8
Ширина каналов, м	0,37
Высота каналов, м	0,11
Расход природного газа, м³/ч	50—60
Давление газа перед регуляторами, МПа (атм)	0,06 (0,5)
Рабочее давление газа у горелок, Па (мм вод. ст.)	4413 (450)
Давление воздуха, Па (мм вод. ст.)	1177 (120)
Температура уходящих дымовых газов, °С	Около 160
Температура воздуха, отбираемого из зоны охлаждения, °С	Около 200
Температура выходящих изделий, °С	30—40

Конвейерная муфельная печь для обжига плиток. Муфельная печь по проекту предназначена для обжига мазутом неглазурованных плиток, но их защита от непосредственного контакта с топочными газами дает возможность обжигать в этой печи и плитки с цветной глазурью. Предельная температура обжига (1100° С) определяется условиями эксплуатации роликового конвейера. В щелевых печах нет условий, благоприятных для полного сгорания жидкого топлива; выбор муфельного варианта конвейерной печи для заводов, не располагающих природным газом, дает возможность получать глазурованные плитки лучшего качества, чем при непосредственном обжиге мазутом.

Ширина муфельного канала 0,9 м, а высота до замка свода около 0,5 м. Длина муфельной зоны нагрева 28 м, а зоны непосредственного охлаждения плиток — 14 м. Под и свод муфельного канала выложены из карборундовых плит, а боковые стены из шамотного легковеса ГЛ-0. Газы из нижних и верхних топок проходят под муфельным каналом и над его сводом, а затем по борову в рекуператор и дымосос.

Количество и температура топочных газов в каналах регулируются самостоятельно количеством сжигаемого топлива в форсунках нижних и верхних топок. Пять нижних топок устроены в поду

топочного канала с наклоном 30° в сторону зоны подогрева. Карборундовый свод муфеля нагревается шестью боковыми топками. Плитки охлаждаются непосредственно встречными потоками воздуха, подаваемого вентилятором через щелевидные каналы в стенах печи.

Печь сложена из высокоглиноземного огнеупора с теплоизоляцией шамотным легковесом и пенодиатомитовым кирпичом. Ролики конвейера, как и в других печах, имеют звездочки для цепного привода.

Особенностью печи является использование для сжигания мазута вихревых форсунок конструкции ВНИПИтеплопроект с паровоздушным распылением, дающим короткий факел пламени.

Наибольшая производительность выбранной форсунки — 15 кг/ч при давлении пара 0,25—0,3 МПа (2,5—3 атм), воздуха — 1961 МПа (200 мм вод. ст.).

Давление мазута 0,2 МПа (2 атм) обеспечивается шестеренчатыми насосами НШ-3 с проводами от электродвигателей постоянного тока П-11.

С помощью регуляторов возбуждения РВ-5202 обеспечивается бесступенчатое регулирование производительности каждой форсунки в соответствии с назначенным режимом обжига.

Техническая характеристика муфельной печи

Длина печного канала, м	42
Ширина печного канала, м	0,9
Диаметр роликов конвейера, мм	28
Длина роликов конвейера, мм	1830
Шаг роликов конвейера, мм	50
Расход мазута (9370 ккал/кг), кг/ч	Около 100
Удельный расход условного топлива при обжиге неглазурованных плиток, кг/м² (кг/кг)	5,28 (0,23)
Намеченная продолжительность обжига в ритме поточной линии, мин	42
Поверхность теплопередачи 4-секционного трубчатого рекуператора, м²	56
Температура воздуха, подаваемого из рекуператора для сушки плиток, °С	200
Количество воздуха, отбираемого из цеха, м³	6000
Выделение тепла в цех, ккал/ч	200 000

Температуру обжига в печи подобного типа можно повысить при использовании в конвейере высокоогнеупорных роликов. Карборундовый муфель позволяет повышать температуру до 1250° С. В модификации муфельной конвейерной печи можно организовать обжиг низкотемпературного фарфора на площадках. В этом варианте шаг и диаметр роликов соответственно увеличиваются, а нагрузка на конвейер без снижения срока службы роликов увеличивается.

Недостатком конструкции печи является размещение нижних горелок под подом печи, что влечет за собой устройство смотрового туннеля под печью, увеличение ее стоимости и создало некоторые неудобства обслуживания нижних форсунок.

Одноканальная газовая печь с роликовым конвейером для обжига фаянсовых плиток. Первая печь этого типа была спроектирована ПКБ НИИстройкерамики для обжига глазурованных фаянсовых плиток и была построена на Кучинском комбинате керамических облицовочных материалов. По мере освоения скоростного обжига фаянсовых глазурованных плиток эта печь с некоторыми конструктивными изменениями построена и на других заводах в непрерывно-поточных линиях. Печь в варианте 1972 г. * имеет длину в поточной линии 49,5 м и состоит из секций, собранных в жестких каркасах, на которых смонтированы роликовые секции конвейера. Канал печи шириной 1300 мм выложен из шамотного огнеупора и изолирован шамотным и диатомитовым легковесом. На общем с печным каналом каркасе смонтирован конвейер из жароупорных роликов. Жароупорные сплавы Х25Т и 0Х23Н18, из которых изготовляются ролики, позволяют поддерживать температуру обжига не выше 1000—1050° С. Деформация роликов нарушает бесперебойную работу печи и всей связанной с ней автоматической линии. Диаметр роликов 32 мм, длина 2330 мм. Шаг роликов (60 мм) позволяет обжигать плитки размером 250×250 мм в четыре ряда без поддонов, что дает соответствующее сокращение рабочей силы. Вращение роликов осуществляется цепной передачей от приводной станции, на которой предусмотрена возможность изменения скорости движения конвейера и продолжительности обжига плиток.

Режим нагрева в зонах подогрева и обжига регулируется количеством сжигаемого газа в мелких, часто расположенных горелках. Горелки размещаются под конвейером и над ним для двустороннего нагрева плиток. Высокая производительность одноканальных конвейерных печей достигается благодаря сверхскоростным режимам обжига. При двустороннем нагреве плиток устраняются деформации (вогнутость плиток) и другие дефекты, возникающие при высоких скоростях спекания и охлаждения в первом обжиге (20 мин), и образование глазурного слоя во втором обжиге (31 мин).

Проводятся экспериментальные исследования по изысканию составов недорогих масс и глазурей, обеспечивающих при скоростных режимах получение плиток высокого качества. Зона подогрева и обжига отделяется от зоны охлаждения пережимом канала до минимальной щели, необходимой для размещения роликов и прохождения плиток.

Для обеспечения окислительной среды, необходимой при обжиге плиток, покрытых цветными глазурями, применяются газовые инжекционные горелки «Стальпроекта» диаметром 21/1,3; 24/1,5 и 28/1,7 мм. Регулирование горелок для получения беспламенного горения при втором обжиге имеет весьма важное значение и потому использование недорогих систем для автоматизации обжига может дать при повышении сортового выхода изделий существенный экономический эффект.

---

* По материалам, предоставленным ПКБ НИИстройкерамики.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боренбойм А. М.** Туннельная печь прямого действия с газовым отоплением.— Сб. ГИКИ «Фарфор, фаянс», 1962, № 22, с. 5.
2. **Булавин И. А.** Теплотехника в производстве фарфора и фаянса. М., «Легкая индустрия», 1972. 440 с.
3. **Бойко Д. Я., Шульман И. Г.** Мощность и экономическая эффективность туннельных печей для обжига фарфора.— «Стекло и керамика», 1968, № 8, с. 26—28.
4. **Боренбойм А. М., Кортнев В. В., Наумов М. М. и др.** Труды совещания по интенсификации работы туннельных печей на заводах строительной керамики. М., Госстройиздат, 1958. 96 с.
5. **Городецкий В. С., Кутас О. Н., Селиванова Г. М. и др.** Технология изготовления карборундовых огнеупоров высокой термической стойкости.— «Стекло и керамика», 1970, № 10, с. 21—23; № 12, с. 14—18.
6. **Ковельман Г. А.** Исследование безутильного обжига хозяйственного фарфора.— Сб. ГИКИ «Фарфор, фаянс», 1962, № 22, с. 5—6.
7. **Ковельман Г. А.** Развитие техники обжига фарфоровых и фаянсовых изделий.— «Стекло и керамика», 1968, № 4, с. 10—20.
8. **Августиник А. И., Ковельман Г. А., Шульман И. Г. и др.** Спекание и оптимальные режимы обжига тонкой керамики. — Сб. ЦНИИТЭСТРОМ, М., 1969, с. 61—64.
9. **Кортнев В. В.** Мощные туннельные печи для обжига электрофарфора.— «Стекло и керамика», 1968, № 12, с. 20—23; № 10, с. 31—32.
10. **Кзендзовский В. Р., Володин Е. Е.** Автоматическое регулирование теплового режима туннельной печи.— «Механизация и автоматизация производства», 1962, № 12, с. 38—42.

ГЛАВА XIII

СОРТИРОВКА, ШЛИФОВАНИЕ И ПОЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

1. СОРТИРОВКА ИЗДЕЛИЙ

В процессе производства изделий возникают различные виды брака. Большинство их обнаруживают при промежуточном контроле, осуществляемом при выполнении отдельных технологических процессов, например после сушки и оправки сырца, первого обжига и глазурования полуфабриката. Окончательную сортировку производят после политого обжига изделий. При этом выявляются также и дефекты предшествующей обработки полуфабриката.

Сортировка обожженных глазурованных изделий, при которой их разделяют по качественным признакам на группы сортности, отделяя недоброкачественную продукцию, а также требующую исправления путем дополнительной обработки, является весьма важной и ответственной операцией. Сортировщик, сигнализируя о возникающих дефектах продукции, способствует своевременному их устранению.

Тонкокерамические изделия сортируют и подвергают контрольным испытаниям в соответствии с ОСТ и ТУ, установленными для каждого вида продукции. Фарфоровую и фаянсовую посуду, а также изделия декоративно-художественного назначения, например скульптуры и барельефы, декоративные вазы, предметы внутреннего убран-

ства и т. п., сортируют дважды — до и после декорирования надглазурными красками.

Основной является сортировка нераскрашенного полуфабриката, т. е. так называемого белого товара, при которой продукцию распределяют по сортам, отбирают изделия для соответствующих видов надглазурного декорирования и комплектуют сервизы, гарнитуры и наборы.

Окончательную сортировку осуществляют после обжига изделий, декорированных надглазурными красками. При этом, помимо контроля дефектов раскраски, повторно проверяют результаты сортировки белого товара.

Критериями для отнесения изделий к тому или иному сорту являются внешний вид, показатели физико-механических свойств, величина и количество дефектов обработки при формовании, обжиге и декорировании.

В технических условиях на тонкокерамические изделия обычно указаны требования к физико-механическим свойствам изделий (к механической прочности, термической и химической стойкости, пористости (по водопоглощению), цвету (белизне) и к просвечиваемости (для хозяйственного фарфора), диэлектрическим свойствам (для изоляторов) и др.

Показатели этих свойств проверяют периодически и выборочным путем, применяя для испытаний специальные приборы [1, 2].

Механическая прочность. Тонкокерамические изделия должны обладать достаточной прочностью, чтобы противостоять механическим воздействиям, которым они в зависимости от своего назначения могут подвергаться в процессе эксплуатации.

Фарфоровые высоковольтные и низковольтные изоляторы, испытывающие в период эксплуатации значительные растягивающие и срезывающие нагрузки, должны иметь высокую стойкость к разрыву и изгибу.

Для тонкостенной керамической посуды, подвергающейся преимущественно ударным воздействиям, наиболее существенное значение приобретает сопротивление удару по дну и краю изделий.

Механическую прочность плоской посуды на удар по дну испытывают на приборе ГИКИ методом свободного падения стального шарика. Величина ее характеризуется работой падения шарика, затрачиваемой при разрушении изделия, и рассчитывается по формуле

$$W = PH,$$

где P — масса стального шарика, г;
H — высота падения шарика, см.

Приставленные детали изделий (ручки, носики) не должны отламываться при нагрузке, превышающей не менее чем в 2 раза массу воды, заполняющей изделие.

Твердость глазури. Глазурь, покрывающая керамические изделия, должна обладать достаточной твердостью, т. е. способностью противостоять прониканию в нее другого тела под воздействием внешних усилий, например при царапании, истирании и надавливании.

Это требование имеет особо важное значение для фарфоровой и фаянсовой посуды, которая в период эксплуатации подвергается именно таким механическим воздействиям, ухудшающим с течением времени внешний вид изделий и снижающим их гигиенические свойства.

По сопротивлению прочерчиванию стальным острием при ручном нажатии глазури разделяют на твердые, средней твердости и мягкие. Наибольшей твердостью отличаются фарфоровые глазури, не поддающиеся прочерчиванию. Фаянсовые глазури обычно относят к глазурям средней твердости, легкоплавкие майоликовые глазури — к мягким.

При определении твердости глазури испытуемую глазурованную пластинку или вырезанную из изделия часть дна подвергают безударному вдавливанию стального шарика (на приборе ГИКИ) или алмазного конуса (на приборе ПМТ-3). Твердость глазури выражают величиной нагрузки, отнесенной к единице поверхности полученного оттиска:

$$H = \frac{P}{S},$$

где H — степень твердости, Н/мм^2;
P — величина постоянной нагрузки, Н;
S — площадь поверхности оттиска, мм^2.

Твердость глазури, измеренная на приборе ГИКИ, составляет Н/мм^2: для фарфора 2250—3000, для фаянса со свинцовой глазурью 600—800, с бессвинцовой глазурью — до 1200, с бессвинцовой безборной глазурью — более 1200.

Показатели твердости глазури, полученные на приборе ПМТ-3, в 1,5—2 раза превышают аналогичные показатели, измеренные на приборе ГИКИ.

По шкале Мооса твердость фарфоровой глазури колеблется от 6 до 8, а твердость неглазурованного фарфора составляет не менее 7, т. е. соответствует твердости кварца.

Термостойкость. Тонкокерамические изделия должны обладать достаточной термостойкостью, т. е. способностью выдерживать без разрушения воздействие резких температурных колебаний.

Термостойкость определяют по возникновению волосяных трещин в глазурном слое при многократном попеременном нагревании, начиная с температуры 110° С, и последующем быстром охлаждении испытуемых изделий путем погружения их в воду температурой 15° С (метод Харкорта). Температуру нагревания повышают каждый раз на 10° и повторяют испытания до тех пор, пока на глазури не появятся волосяные трещины.

Согласно требованиям ТУ фарфоровые изделия должны выдерживать без появления цека не менее 8 теплосмен, фаянсовые — не менее 6.

Химическая стойкость. Глазурь и надглазурные краски фарфоровых и фаянсовых изделий должны обладать стойкостью к воздействию кислот и щелочей, которые могут вызвать разрушение глазури, сни-

жение блеска, матовость красок, а в случае применения свинцовых глазурей — отдачу растворимого свинца.

Стойкость к воздействию щелочей определяют кипячением изделия в течение 3 ч в 4%-ном растворе соды. Степень разрушения глазури определяют по изменению блеска и внешнего вида. Глазури, не стойкие к воздействию щелочей, становятся матовыми.

Химическую стойкость надглазурных красок проверяют воздействием на них в течение 3 ч 0,75%-ного раствора соляной кислоты и 5%-ного раствора соды. Отсутствие изменений внешнего вида красок после такой обработки характеризует хорошую химическую стойкость, изменение цвета и появление матовости — удовлетворительную, легкая стираемость с изделий — неудовлетворительную.

Пористость. Основные физико-технические свойства изделий (механическая прочность, термическая и химическая стойкость, теплопроводность, просвечиваемость и др.) в существенной мере зависят от микроструктуры фарфора или фаянса, и в частности, от их пористости, с возрастанием которой эти показатели снижаются.

Поры могут быть открытыми и закрытыми. При испытании продукции обычно определяют только открытую пористость, характеризующуюся водопоглощением неглазурованного образца, т. е. выраженным в процентах отношением массы поглощенной воды к первоначальной массе образца.

Водопоглощение обычно составляет, %: фарфора — 0,05—0,1, полуфарфора — 0,5—2, твердого фаянса—9—12, майолики — 13—15.

Цвет (*белизна*). Белизна и цветовые оттенки являются существенными показателями, определяющими качество такой тонкокерамической продукции, как фарфоровая и фаянсовая посуда и декоративно-художественные изделия. Меньшее значение они имеют для санитарно-строительной керамики (санфаянс, облицовочные плитки) и почти никакого для изделий технического назначения (электрофарфор).

Белизну, т. е. относительную способность керамического материала отражать световые лучи белого цвета, падающие на его поверхность, определяют по содержанию белого цвета. Для этого фотометрическим способом сравнивают количество белых световых лучей, отраженных испытуемым образцом и эталоном, в качестве которого применяют баритовую пластинку. Белизну эталона принимают за 100% и к ним относят содержание белого цвета в фарфоре, фаянсе и т. п. Для определения степени белизны используют фотометры типа Оствальда, фотометрические измерители конструкции ГИКИ и др.

Фарфоровые и фаянсовые изделия не являются чисто белыми и обычно имеют желтоватый или серовато-голубой оттенок. В высококачественных образцах белизна изделий достигает 70% и более. Содержание белого цвета в фаянсе обычно превышает данный показатель в фарфоре, что объясняется более высоким светорассеянием и меньшей поглотительной способностью непросвечивающего пористого фаянса.

Глазурное покрытие существенно влияет на белизну изделий, снижая ее на 3—5% по сравнению с белизной неглазурованных изде-

лий. Чем тоньше слой глазури на изделиях, тем выше их белизна.

Согласно ТУ на фарфоровую посуду белизна ее должна быть не ниже 63% для изделий I сорта, 60% — для II сорта и 55% — для III сорта.

Просвечиваемость. Способность фарфора пропускать лучи света (просвечиваемость) — свойство фарфора, отличающее его от других керамических материалов.

Просвечиваемость τ, %, определяют как отношение интенсивности света Φ, прошедшего через фарфор, к интенсивности Φ_0 падающего на него светового потока:

$$\tau = \frac{\Phi}{\Phi_0} \cdot 100.$$

С толщиной изделия d просвечиваемость связана соотношением [2]

$$\tau = \tau_1 \cdot 10^{\ k(d\ \ 1)},$$

где τ_1 — просвечиваемость пластинки толщиной 1 мм;

k — показатель, характеризующий уменьшение просвечиваемости данного вида фарфора с возрастанием толщины изделия.

Как видно из этого соотношения, график изменения величины $\log \tau$ в зависимости от толщины черепка выражается прямой, угол наклона которой соответствует логарифму просвечиваемости.

Просвечиваемость обычно измеряют фотоэлектрическим методом, пользуясь специальными приборами, например шаровым фотометром ФМШ-56 или ФМШ-56М. Объектами испытаний служат специально изготовленные плоскопараллельные пластинки размером не менее 30×30 мм. Образцы не должны иметь дефектов — пятен, мушек, наколов и т. п.

ОСТ 17-84—71 предусматривает определение просвечиваемости хозяйственного фарфора путем визуального осмотра изделий в проходящем свете.

Обожженные глазурованные фарфоровые и фаянсовые изделия поступают в сортировочный цех, где каждую ассортиментную группу сортируют и хранят в специально отведенном месте.

Для транспортирования используют наземные и монорельсовые вагонетки, электрокары, а также цепные люлечные транспортеры, позволяющие перемещать грузы как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Тарелки и блюдца транспортируют в стопках, остальные изделия — в стандартных ящиках, заполненных для удобства и упрощения учета определенным количеством изделий одного ассортимента и фасона.

Сортировку обычно выполняют в две стадии: 1) приемка и первичная сортировка изделий, поступающих из печного цеха после политого обжига; 2) окончательная сортировка белого товара, включая также изделия, которые дополнительно обрабатывали для исправления некоторых дефектов и улучшения внешнего вида [3, 4].

При первичной сортировке изделия разделяют следующим образом:

1) сортовые, которые после декорирования будут соответствовать предусмотренным в ТУ группам сортности, т. е. I, II и III сортам;

2) требующие дополнительной обработки — зачистки, шлифования и полирования, после чего изделия могут быть отнесены к первой группе;

3) дефектные, не соответствующие требованиям к сортовой продукции и передаваемые для разборки по видам брака.

Разделение изделий по сортам, отбор для соответствующего декорирования и комплектование сервизов, гарнитуров, наборов производят на второй стадии сортировки.

Фарфоровые и фаянсовые изделия сортируют путем внешнего осмотра, в процессе которого оценивают качество глазурного покрытия, цвет и просвечиваемость изделия, устанавливают отклонения от формы и размеров и в соответствии с предусмотренными допусками распределяют продукцию по сортам. Для облегчения сортировки и большей ее объективности используют эталоны, а также различные измерительные инструменты и приспособления.

Деформацию полых изделий определяют по разности максимального и минимального диаметров, плоской посуды — путем измерения зазора между бортом изделия и поверхностью ровной плиты, на которую его укладывают вверх дном при испытании. Для измерения пользуются вставляемыми в зазор специальными калибрами в виде ступенчатых клиньев, ступени которых последовательно утолщаются на 0,5 мм.

Сортировка плоской посуды весьма упрощается при использовании специального клавишного устройства, состоящего из горизонтального диска с радиальными прорезями, в которые вмонтированы выступающие над ними подвижные клавиши. Испытуемые изделия устанавливают на диск вверх дном и прижимают к нему вертикальным штифтом, надавливающим на центр дна. В зависимости от степени искривления борта отдельные клавиши опускаются на различную глубину и включают сигнальные лампы, показывающие, к какому сорту по признаку деформации следует отнести изделие.

Правильность крепления приставленных деталей определяют с помощью сконструированных в ГИКИ несложных приборов, позволяющих измерить угол отклонения ручек и носиков от нормального положения.

Размеры изделий проверяют с помощью миллиметровой линейки, штангенциркуля или толщиномера, вместимость — по объему или массе заполняющей их воды.

Работа сортировщика требует высокой квалификации, знания дефектов, большого навыка визуального определения цвета и просвечиваемости изделия, размеров темных пятен («мушки»), качества разлива глазури, наличия наколов, волосяных трещин и других дефектов глазурного слоя, правильности размещения приставленных деталей — ручек, носиков и т. п.

Качество нераскрашенных изделий должно соответствовать наносимому на них декору. При удачно подобранном декоре могут быть скрыты многие дефекты поверхности, что позволяет повысить сортность и стоимость готовой продукции. Так, «мушка» диаметром до 1 мм может быть закрыта рисунками, выполненными темными красками. Пятна и следы от шлифования могут быть почти незаметными при нанесении на них деколи. Отклонения в цвете изделия хорошо маскируются сплошными покрытиями (фонами) и т. п. Поэтому важной операцией является отбор изделий для соответствующих видов раскраски, которую совмещают с сортировкой или выполняют после нее.

Лучшие сорта нераскрашенных изделий предназначают, как правило, для более сложного декора, низшие — для раскраски более простыми рисунками. Особо высокое качество изделий требуется при бортовом декорировании, при котором большая часть поверхности остается нераскрашенной.

После сортировки продукцию маркируют, нанося с помощью резинового штампа заводское клеймо определенного цвета, соответствующего сорту изделий. Для последующего декорирования изделия направляют поштучно или скомплектованными в сервизы, гарнитуры и наборы, которые подбирают из изделий одинакового качества и однотонных по цвету.

Сортировка фарфоровых и фаянсовых изделий, отличающихся весьма широким ассортиментом, а также многообразием форм, размеров, технических требований, допусков и т. п., в настоящее время в основном немеханизирована. Исключение составляют лишь фаянсовые облицовочные плитки, имеющие крайне простую форму и стандартные размеры, что позволило механизировать сортировку их по размеру и цвету на специальных машинах.

Подачу изделий к рабочим местам сортировщиков и отбор рассортированной продукции при поточной организации работы осуществляют с помощью непрерывно действующих, например ленточных, транспортеров.

2. ШЛИФОВАНИЕ И ПОЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

Шлифованием и полированием обрабатывают неглазурованные участки на поверхности фарфоровых изделий, а также устраняют некоторые дефекты глазури. Пригодность абразива для шлифования или полирования определяется его твердостью, которая должна превышать твердость обрабатываемого материала, а также формой и величиной зерен, используемых на разных стадиях обработки.

В тонкокерамических производствах в качестве абразивов применяют корунд, наждак, карборунд, синтетические алмазы, песчаник (олонецкий камень) и другие, используемые в виде шлифовальных кругов, головок и брусков с различной величиной шлифующих зерен. Для полирования шлифованной поверхности обычно применяют фарфоровую глазурь.

По характеру обработки изделий различают следующие виды работ:

а) шлифование и полирование края полых изделий, обжигаемых на бомзах или без бомз склеенными попарно;

б) шлифование ножек и других неглазурованных опорных поверхностей, на которых изделия стоят при обжиге;

в) шлифование и заполирование дефектов поверхности.

Шлифование края изделий. Край изделий, обжигаемых на бомзах или без бомз склеенными попарно, шлифуют и полируют для устранения шероховатости не покрытой глазурью поверхности.

Ранее эту операцию выполняли на вертикальных быстроходных шпиндельных станках. Изделия помещали в гипсовый или деревянный патрон головки шпинделя и обрабатывали вручную, используя в качестве абразивов сначала олонецкий камень, куски корундовых кругов или обожженный фарфоровый черепок, а затем смоченные жидкой глазурью дерево или жгуты из ткани, которые прижимали последовательно к обрабатываемому краю.

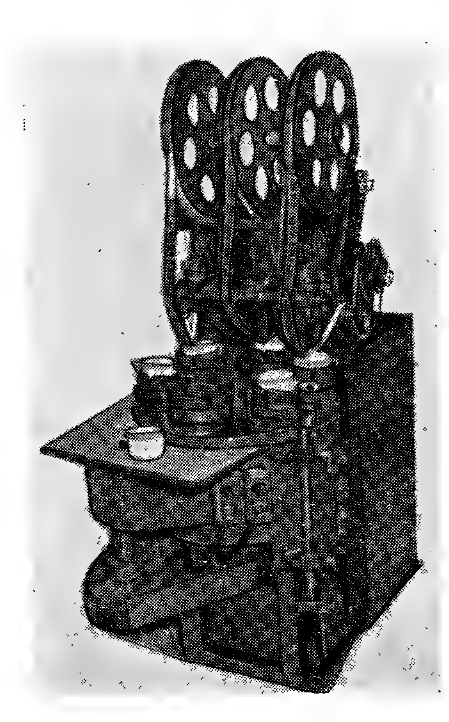


Рис. XIII.1. Полуавтомат для шлифования края чашек

В настоящее время получили широкое распространение полуавтоматы для шлифования и полирования края чашек, блюдец и других изделий, способствующие значительному улучшению условий работы и повышению производительности труда при выполнении этих трудоемких операций [5, 6].

Полуавтоматы (рис. XIII.1) обычно представляют собой многошпиндельные карусельные столы с периодическим вращением, в гнезда которых вставляют сменные патроны, соответствующие форме и размерам обрабатываемых изделий. На позициях шлифования и полирования рабочие шпиндели с помощью особого устройства поднимаются и приводятся в быстрое вращение, причем изделия последовательно прижимаются краями (или ножками) к нескольким (от двух до четырех) абразивным лентам с различной величиной шлифующего зерна, которые производят все более тонкое шлифование и полирование. Ленты, намотанные на бобины, после каждой операции шлифования автоматически смещаются, благодаря чему каждый раз используется новый участок абразива. В качестве шлифующего приспособления для предварительной, более грубой обработки края используют шлифовальные круги или бруски, которые автоматически поворачиваются для обеспечения равномерного их износа.

Изделия обрабатываются сухим или мокрым способом. В первом случае машина снабжается пылеотсасывающей вентиляцией. Длительность шлифования и полирования составляет 3—7 с.

Шлифование ножек изделий. Ножки и другие неглазурованные опорные поверхности изделий шлифуют, чтобы они стали гладкими и не имели шероховатостей.

Для шлифования ножек некоторых изделий (кувшинов, чайников, молочников, крупных сервизных изделий и т. п.) применяют шлифовальные шайбы, рабочим органом которых является гладкий горизонтальный чугунный диск диаметром до 2 м. В качестве абразивного материала используют увлажненный кварцевый песок, подаваемый непрерывной струей в центральную часть шайбы из установленной над ней воронки и распределяемый равномерным тонким слоем по поверхности вращающегося диска. Обрабатываемые изделия прижимают ножками к движущейся шайбе (здесь одновременно могут работать два—четыре человека), и в процессе шлифования их слегка поворачивают, что требует значительных физических усилий.

В полуавтоматах и автоматах, действующих по этому же принципу, изделия прижимаются к шайбе с помощью вращающихся шпинделей, которые попеременно опускаются и поднимаются посредством специальных устройств.

В результате одновременного вращения прижимов вокруг своей оси и оси станка и непрерывного кругового перемещения шайбы ножки изделий равномерно шлифуются. Обслуживание полуавтомата сводится к попеременному съему обработанных изделий с прижимных шпинделей и к установке необработанных изделий. В автоматах для шлифования ножек тарелок загрузка и съем изделий после обработки осуществляются автоматически [4, 5]. Производительность полуавтоматов и автоматов для шлифования изделий составляет 600—1200 шт. в час.

Недостаток шлифования с помощью шайб — возможность получения только плоской, а не округлой обработанной поверхности.

Устранение дефектов изделий шлифованием и полированием. К дефектам изделий, которые могут быть в большей или меньшей степени исправлены шлифованием и последующим полированием относятся следы слипания изделий (так называемый слипыш), засорка, возникающая вследствие приплавления к глазурованной поверхности изделий частиц шамота, открашивающихся от капселей в процессе обжига, небольшие щербины на краях изделий.

Для устранения поверхностных дефектов шлифованием применяют круги (корундовые, карборундовые и др.) диаметром 60—150 мм и толщиной около 15 мм, которые закрепляют на вращающихся горизонтальных или вертикальных шпинделях.

Как показали исследования, проведенные в ГИКИ, качество обработки изделий в значительной степени зависит от свойств шлифовальных и полировальных кругов и их окружной скорости.

Наилучшие результаты получены при использовании олонецкого камня, представляющего собой естественный плотный песчаник с округлыми зернами кварца, которые не оставляют после шлифования бороздок и рисок, что характерно для обработки корундовыми и

карборундовыми кругами. Поверхность изделий, отшлифованная олонецким камнем, легко полируется.

Для удаления крупных частиц шамота, приплавленных к глазурованной поверхности, применяют электрокорундовые и карборундовые круги на керамической связке зернистостью не более 46 мкм.

Для полирования шлифованной поверхности изделий используют круги из мягких пород дерева (лучше всего из ольхи). Применяют также круги из плотной ткани в несколько слоев, например

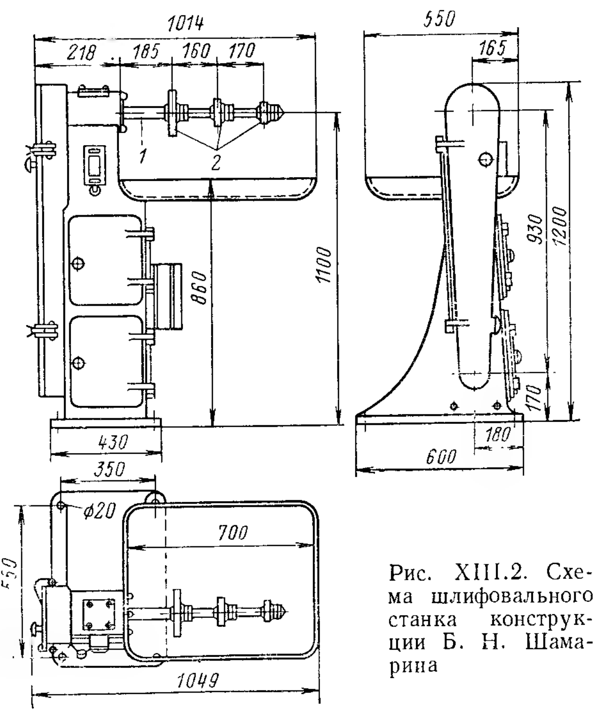


Рис. XIII.2. Схема шлифовального станка конструкции Б. Н. Шамарина

фильтр-прессовочной, расположенной между двумя металлическими дисками, диаметр которых примерно на 10 мм меньше диаметра текстильного круга.

Станки для устранения поверхностных дефектов шлифованием и полированием разделяют на горизонтальные, или так называемые боковые, вертикальные и с гибким валом. Горизонтальный станок для шлифования изделий конструкции Б. Н. Шамарина (рис. XIII.2 [4]) имеет свободно выступающий шпиндель *1*, на который надевают три разных шлифовальных круга *2* (круги располагают на определенном расстоянии друг от друга). Это позволяет производить последовательно сначала грубое, затем более тонкое шлифование и полирование, не переставляя обрабатываемые изделия, благодаря чему повышается производительность труда.

Под рабочим шпинделем находится металлическое корыто для воды, стекающей при смачивании абразивов. Весь станок смонтирован на массивной чугунной станине (во избежание вибрации), внутри

которой помещается электродвигатель мощностью 0,25 кВт с ременной передачей.

Обрабатываемые изделия прижимают вручную к шлифовальному кругу и при этом снимают выступающие неровности краем абразивного диска, не захватывая поверхности, не требующей шлифования.

Для поддержания рук шлифовщика в устойчивом положении и облегчения условий труда рабочее место его должно быть оборудовано стойками с мягкими подушками. Станки для шлифования изделий следует располагать в хорошо освещенных местах производственного помещения.

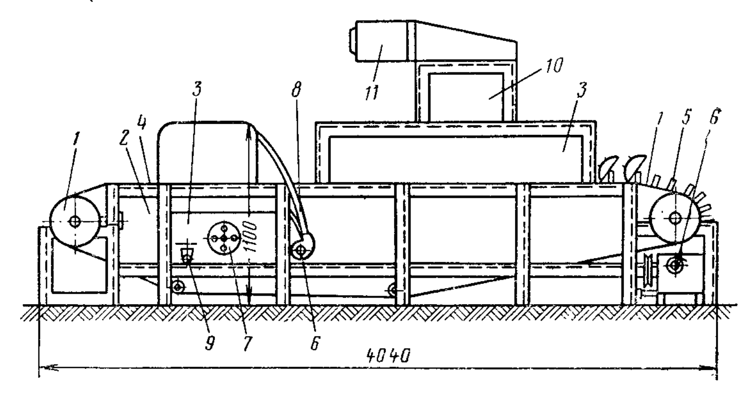


Рис. XIII.3. Схема моечной машины

Внутреннюю засорку в чайниках, кувшинах, сахарницах удаляют с помощью электрических машинок, имеющих гибкий вал, на конец которого надевают наконечники со сменными абразивными камнями сферической или конической формы.

Промывание шлифованных изделий. Песок и ржавчина, оставшиеся на поверхности шлифованных изделий, могут вызвать появление желтоватых или буроватых пятен и точек после муфельного обжига. Чтобы этого избежать, изделия промывают водой, лучше всего подогретой.

Схема моечно-сушильного агрегата, сконструированного на Кузяевском фарфоровом заводе, показана на рис. XIII.3 [4].

Агрегат состоит из вертикально-замкнутого двухцепного конвейера *1*, моечной камеры *2* и сушильного шкафа *3*, смонтированных на каркасе *4*. Полотно конвейера образуют латунные стержни, соединяющие звенья цепей. На стержнях жестко закреплены скобы *5*, удерживающие изделия под определенным углом к плоскости транспортера. Через приводную станцию *6* и редукторный привод с помощью электродвигателя конвейер приводится в движение (скорость 1 м/мин).

Моечная камера *2* состоит из водяного бака *7* вместимостью 200 л, в котором вода подогревается до температуры 80—90° С, а затем с помощью насоса с электродвигателем мощностью 0,25 кВт подается по трубе *8* в душирующие насадки, расположенные в моечной камере

вверху и внизу, и разбрызгивается на изделия. В камере длиной 1 м изделия находятся под душем в течение 1 мин, при этом они не только хорошо промываются, но и подогреваются, что ускоряет последующую сушку их в сушильной камере. Горячая вода стекает в резервуар с отстойником, периодически очищаемым от песка через люк *9*.

Из моечной камеры *2* изделия поступают в сушильный шкаф *3*, в котором сушатся горячим воздухом, подаваемым из парового калорифера *10* вентилятором *11*. Продолжительность сушки 3 мин. Промытые и высушенные изделия снимают вручную с конвейера, клеймят и сортируют. Производительность моечно-сушильного агрегата — до 1600 шт. изделий в час.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Юрчак И. Я. и др.** Методы исследования и контроля в производстве фарфора и фаянса. М., «Легкая индустрия», 1971. 431 с.
2. **Левин Д. И., Басин Е. В.** Определение просвечиваемости фарфора. — «Стекло и керамика», 1970. № 3, с. 36—38.
3. **Технологические** инструкции по производству фарфоровой хозяйственной посуды. М., ЦНИИТЭИлегпром, 1971. 72 с.
4. **Технологические** инструкции по производству фаянсовой хозяйственной посуды. Л., Издание ГИКИ, 1967. 50 с.
5. **Городов Н. Н. и др.** Новая техника в производстве фарфора и фаянса. М., «Детский мир», 1958. 288 с.
6. **Мороз И. И.** Автоматизация производства фарфоро-фаянсовых изделий. Киев, «Техника», 1965. 259 с.

ГЛАВА XIV

ДЕКОРИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

1. НАЗНАЧЕНИЕ И СПОСОБЫ ДЕКОРИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Художественная ценность тонкокерамических изделий и производимое ими эстетическое воздействие определяются гармоническим сочетанием использованного керамического материала, формы предмета и отделки наружной поверхности его. Отделка широко применяется в фарфоро-фаянсовом производстве для украшения изделий, позволяя разнообразить их ассортимент и повышать декоративные и художественные достоинства их.

Способы декорирования можно разделить на две основные группы:

1) украшение гладкой наружной поверхности посредством выступающих над ней рельефных пластических украшений из той же массы или с помощью углубленных узоров. Выпуклые рельефные украшения получают при формовании изделий в специальных формах, имеющих на рабочей поверхности углубления, отвечающие негативному изображению воспроизводимого рельефа. Углубленные узоры наносят методами врезывания или вдавливания в толщу сформованного сырого изделия;

2) декорирование поверхности изделий керамическими красками и декоративными глазурями.

Различают следующие способы декорирования изделий:

а) окрашивание керамической массы и ангобирование;

б) украшение цветными глазурями;

в) декорирование керамическими красками и препаратами драгоценных металлов.

Применяя на одном изделии эти способы отделки в сочетании друг с другом, а также используя пластические украшения, можно достичь большой художественной выразительности декора.

Окрашивание керамической массы и ангобирование. Окрашивание керамической массы позволяет изменять в заданном направлении природный цвет керамического материала путем тесного смешивания массы, например при помоле, с соответствующими красящими соединениями.

Окрашенные массы применяют в пластичном состоянии или в виде шликеров, используемых для литья и ангобирования изделий [1, 2].

Ангобирование представляет собой метод декоративной обработки, который дает возможность изменять или маскировать природную окраску обожженной керамики при меньшей затрате дорогостоящих красителей. Сущность его заключается в полном или частичном покрытии изделий тонким слоем (0,1—0,3 мм) беложгущейся или окрашенной массы (ангоб), который наносят на поверхность изделия в виде суспензии плотностью 1,5—1,7 г/см³.

Украшение цветными и декоративными глазурями. Декорирование цветными (прозрачными и глухими) глазурями применяют чаще всего в производстве фаянса, майолики и других изделий, невысокая температура (960—1160° С) политого обжига которых не разрушает большинство красящих окислов и позволяет использовать разнообразную палитру тонов. Для украшения фарфора цветные глазури употребляют сравнительно редко, что объясняется высокой температурой его обжига (выше 1300° С), практически ограничивающей тональность глазури синим, зеленым и коричневыми цветами.

Декорирование керамическими красками. Керамические краски, применяемые для декорирования фарфоровых, фаянсовых и других тонкокерамических изделий, делят на две основные группы — подглазурные и надглазурные. Особую группу составляют препараты драгоценных металлов — золота, серебра и платины.

Порошковые подглазурные краски обычно употребляют в виде густой тонкодисперсной водной суспензии, к которой добавляют сахаристые вещества (глюкозу, патоку) или глицерин, придающие краске подвижность, связность и эластичность, а также декстрин или гуммиарабик для ее закрепления во избежание смывания при глазуровании декорированных изделий.

В качестве связующих агентов можно использовать также и скипидар, олифу и тому подобные вещества. Однако перед глазурованием их необходимо удалить путем прокаливания изделий при температуре около 600° С, так как в противном случае глазурь не будет оседать на местах, покрытых жирной краской.

При нанесении на предварительно обожженные изделия краски впитываются в поры тем интенсивнее, чем слабее прокален декорируемый полуфабрикат. При пониженной пористости изделий краска отделяется от кисти в недостаточном количестве, медленно сохнет, а иногда даже растекается.

Впитывание краски порами изделий исключает возможность исправления дефектов декорирования и устранения загрязнений красками, что весьма затрудняет выполнение сложных, особенно теневых рисунков и требует высокой квалификации исполнителей. Поэтому для декорирования подглазурными красками обычно применяют несложные рисунки, которые наносят методом обводки, пульверизации и печатания.

Для подглазурной раскраски иногда используют растворы или смеси растворов солей тяжелых металлов, преимущественно нитратов и хлоридов Co, Ni, Cr, Mn и Fe, а также хлоридов золота и платины. При нанесении кистью или пульверизатором на сырые или прокаленные изделия они впитываются в поры и при последующем обжиге переходят в красящие окислы. В результате взаимодействия солей при высоких температурах с SiO_2 и Al_2O_3 керамической массы образуются соответствующие силикаты и алюмосиликаты, окрашенные в нежные блеклые тона, свойственные широко известному копенгагенскому фарфору.

Надглазурные краски наносят на глазурованные и уже обожженные изделия и закрепляют путем ввода в состав этих красок легкоплавких фритт (флюсов) и дополнительного обжига изделий при температуре 600—900° С в окислительной среде, для чего обычно используют муфельные печи или электропечи.

Надглазурные краски по сравнению с подглазурными менее прочно держатся на изделиях, так как легко поддаются воздействию кислот и щелочей.

Характерной особенностью их является практически неограниченная палитра цветов и оттенков, обусловленная невысокой температурой закрепительного обжига.

В качестве связующих веществ, добавляемых к порошковым надглазурным краскам для придания им текучести и липкости, необходимой для прочного закрепления их на декорированных изделиях до последующего обжига, обычно используют эфирные масла (гвоздичное, лавандовое, анисовое и др.). На воздухе эти вещества постепенно осмоляются и загустевают, а при закрепительном обжиге улетучиваются. В некоторых случаях, например, при нанесении красочных покрытий пульверизацией, для этой цели применяют растворы сахара и декстрина, а также глицерин.

После сушки красочный слой очень медленно растворяется в маслах и поэтому позволяет повторно или многократно перекрывать одну краску другой, обусловливая разнообразие палитры надглазурной росписи. Необходимо, однако, учитывать, что применительно к керамическим краскам, и особенно к надглазурным, общеизвестные оптические законы смешения цветов теряют силу или являются лишь условными.

В результате происходящего при закрепительном обжиге физико-химического взаимодействия перекрывающих друг друга или смешанных надглазурных красок не всегда получаются тона, ожидаемые согласно законам смешения.

Надглазурная раскраска без ущерба для изделий позволяет производить до закрепительного обжига любые исправления; ее можно даже полностью стереть с помощью тряпки, смоченной скипидаром или спиртом. Представляется также возможность исправления надглазурной раскраски и на обожженных изделиях путем повторной раскраски и обжига.

Предприятиям фарфоро-фаянсовой промышленности керамические краски поставляются в виде тонкодисперсных порошков, требующих предварительной подготовки перед их употреблением. Предварительная подготовка красок заключается в тщательном растирании и смешивании их со связующими веществами, в качестве которых, как отмечалось ранее, используют декстрин, глюкозу, глицерин, гуммиарабик, скипидар, бальзамы и различные эфирные масла.

Краски для декорирования приготовляют путем растирания их с 4—6%-ным раствором декстрина (для аэрографной и подглазурной раскраски) или со скипидаром (для прочих видов раскраски) в небольших (вместимостью 1—10 л) вращающихся фарфоровых барабанах, установленных в обоймах специального станка. В качестве мелющих тел служат фарфоровые, кремневые или уралитовые шары диаметром 10—20 мм. Масса краски, шаров и скипидара (или воды), загружаемых в барабан, должна отвечать соотношению 1 : (1—1,2) : 0,5. Готовую краску, нормальная влажность которой должна составлять 30—33%, сливают через сито № 0112 (2710 отверстий на 1 см²) в чистую емкость.

Краски, требующие густой мастикообразной консистенции (например, для перевода печатных рисунков), растирают и смешивают со связующим веществом на вальцах. Они состоят из установленных на станине трех горизонтальных вальцов, приводимых во встречное вращение посредством системы шкивов и шестерен. Расстояние между вальцами, регулируемое установочными болтами, колеблется от 1 до 2 мм.

Перед пропуском через вальцы краску шпателем предварительно смешивают со связующей мастикой. Порцию этой смеси накладывают на задний вал, протирают между ним и средним, а затем между средним и передним валками, после чего счищают раклей. Для получения равномерной смеси компоненты краски следует пропускать через вальцы не менее двух раз.

Консистенция красок может значительно колебаться в зависимости от применяемых методов декорирования, вида воспроизводимых рисунков и индивидуальных особенностей исполнителей. Перед нанесением краски каждый живописец обычно растирает выданную ему для работы краску применительно к своим навыкам, корректируя ее консистенцию, и получает однородную смесь путем тщательного перемешивания и растирания ее шпателем на стеклянной палитре.

2. МЕТОДЫ РАСКРАСКИ ИЗДЕЛИЙ

Существует много методов раскраски тонкокерамических изделий, применяемых в зависимости от вида и сложности воспроизводимых рисунков. Основными из них являются декалькомания, аэрография, печатание с помощью штампа, шелкография и перевод рисунков с бумаги, нанесение лент, усиков и обводок, а также ручная роспись. Механизированные методы раскраски позволяют значительно ускорить процесс обработки, повысить производительность и облегчить условия труда, что имеет особо важное значение в условиях массового производства изделий [1—10].

Декалькомания. Сущность этого метода, широко применяемого для декорирования фарфора и фаянса, заключается в переводе на изделия многоцветных рисунков, нанесенных литографским путем или методом шелкографии на специальную гуммированную бумагу.

При изготовлении переводных рисунков, или так называемой деколи, используют обычные керамические краски: надглазурные — для декорирования обожженных глазурованных изделий, подглазурные — для нанесения на изделия, прошедшие лишь первый обжиг.

Рисунки печатают на быстро размокающей бумаге, одну сторону которой сначала покрывают слоем клеящей мастики, а затем гуммировальной эмульсии, состоящей из крахмала, желатина, декстрина, глицерина, карболовой кислоты и воды.

Керамические краски для воспроизводимого рисунка последовательно наносят на гуммированную бумагу либо в смеси с олифой непосредственно с вала литографской машины, либо вначале печатают рисунок чистой олифой, а затем путем припудривания покрывают ее порошковой краской, излишек которой снимают на чистильных машинах. Изготовление деколи заканчивают нанесением на краску защитного слоя чистой олифы.

Более эффективна двухслойная деколь дуплекс, состоящая из плотной бумажной подкладки и слабо подклеенной к ней тонкой бумаги (типа папиросной), на которой отпечатаны рисунки. После разрезания листа на отдельные отпечатки тонкая бумага свободно отделяется от подкладки, а при наложении на изделия плотно прилегает к декорируемой поверхности.

Для перевода надглазурной деколи поверхность глазурованных изделий и лицевую сторону отпечатков рисунков покрывают ровным слоем специальной клейкой мастики, состоящей из канифоли (30—35%) и скипидара (65—70%), и слегка подсушивают. К смазанным мастикой местам плотно прижимают отпечатки деколи, предварительно размоченные в течение 1—2 мин в теплой воде, затем осторожно снимают бумагу и влажной губкой разглаживают переведенные рисунки от центра к краям для удаления оставшихся под ними пузырей воздуха и избытка воды, которые могут вызвать разрывы деколи в процессе закрепительного обжига.

При нанесении слишком тонкого слоя мастики рисунок плохо пристает к изделиям, разрывается или искажается при переводе.

Избыток мастики затрудняет снятие бумажной подкладки, способствует вскипанию красок и вызывает сморщивание, или так называемую сборку деколи при обжиге.

После подсушки переведенных рисунков в сушильных камерах при температуре 20—25° С излишек мастики удаляют с поверхности изделий, промывая их 2%-ным раствором соды или аммиака, а затем чистой водой. Окончательно высушенные изделия после контроля направляют для дополнительной декоративной обработки (например, для нанесения штампа, цветных фонов, обводки и т. п.) или непосредственно в обжиг для закрепления красок.

При декорировании подглазурной деколью поверхность обожженных неглазурованных изделий предварительно покрывают 3—4%-ным раствором карбоксилметилцеллюлозы, а лицевую сторону отпечатков рисунков — мастикой из смеси канифоли (50%) и скипидара (50%). После перевода рисунков изделия глазуруют и подвергают политому обжигу.

Канифольно-скипидарную мастику для наклеивания отпечатков деколи приготовляют путем осторожного нагревания смеси на песочной бане до полного растворения канифоли. При этом следует соблюдать необходимые меры предосторожности во избежание взрывов и воспламенения.

Для разрезания деколи на отдельные рисунки употребляют специальные машины типа швейных, на которых несколько листов, сложенных вместе, прокалывают с помощью иглы.

В последние годы получила широкое распространение так называемая сдвижная деколь, при использовании которой отпадает необходимость в покрытии изделий клейкой мастикой и в последующем их промывании в щелочном растворе и чистой воде.

Сдвижную деколь изготовляют методом литографской или шелкотрафаретной печати на гуммированной бумаге, которую до или после печатания рисунков покрывают специальным эмульсиевидным лаком, состоящим из ацетилцеллюлозы, синтетических смол и др. После высыхания слой лака образует прочную эластичную пленку, легко сдвигающуюся вместе с рисунком с бумажной подкладки при смачивании ее водой до размокания.

Отпечатки сдвижной деколи размачивают в течение 1—2 мин в воде и накладывают на изделия лицевой стороной вверх. Придерживая одной рукой пленку с рисунком, другой рукой извлекают из-под нее подкладочную бумагу, а затем плотно прижимают рисунок к декорируемой поверхности и мягкой влажной губкой разглаживают его от середины к краям для удаления воздуха и избытка воды, оставшихся под пленкой. После перевода сдвижную деколь подсушивают при температуре 20—40° С. При этом она затвердевает настолько, что позволяет свободно манипулировать изделиями в процессе дальнейшей их обработки и транспортирования, не опасаясь повреждения рисунков.

Мастика, пленкообразующий лак и связующие компоненты красок должны сгорать при закрепительном обжиге без остатка, не обугливаясь, так как под восстанавливающим воздействием углерода

красители разрушаются и обесцвечиваются. Эти вещества сгорают при температуре 220—450° С. При слишком быстром подъеме температуры обжига пленка, мастика и лак сворачиваются и вызывают вспучивание слоя краски (так называемая сборка деколи).

Перевод деколи на изделия обычно выполняют поточным способом на карусельных столах, ленточных или планочных конвейерах, по сторонам которых в технологической последовательности размещают рабочие места обработки. Транспортеры оборудуют сушильными камерами для подсушки переведенных рисунков и окончательной сушки изделий и соединяют с моечными камерами, в которых изделия, загруженные в сетчатые корзины из нержавеющего металла, интенсивно промываются с двух сторон струей горячей воды, нагретой до температуры 70—80° С.

Глубокая печать. Для декорирования фарфора и фаянса широко используют различные методы печатания, заключающиеся в многократном нанесении оттисков рисунков путем передачи краски с печатной формы под давлением.

Одним из этих методов, применяемых для однотонной раскраски обожженных глазурованных и неглазурованных изделий, является глубокая печать (печатающие элементы углублены в печатной форме). При этом методе требуемый рисунок, гравированный или вытравленный на полированной поверхности стальной, медной, цинковой пластины или вала, отпечатывают с помощью специальной пастообразной краски на увлажненной папиросной бумаге, после чего полученные оттиски переносят на декорируемые изделия.

При печатании с досок углубления рисунка с помощью широкого шпателя заполняют вручную пастообразной краской, тем же шпателем снимают ее избыток и мягкой неворсистой бумагой тщательно протирают доску до тех пор, пока краска останется лишь в углублениях рисунка. После этого на доску накладывают влажный лист папиросной бумаги, покрывают его бумагой и войлоком и вместе с ними пропускают между горизонтальными металлическими валами пресса, вращающимися навстречу друг другу. Величину зазора между валами регулируют подъемом или опусканием верхнего вала таким образом, чтобы создавалось давление, необходимое для получения доброкачественного отпечатка рисунка на бумаге.

При печатании с вала применяют ротационные машины [11], основными рабочими органами которых являются непрерывно вращающиеся валы — металлический гравированный печатный и обтянутый войлоком прижимной. Между валами проходит сматывающаяся с рулона тонкая бумага, на которой специальной краской отпечатывают оттиски воспроизводимых рисунков. С пробельных участков печатного вала краска снимается раклей.

Листы бумаги со свежеотпечатанными оттисками разрезают на отдельные рисунки и надрезают их применительно к форме изделий, чтобы они могли плотно прилегать к изогнутой декорируемой поверхности, не образуя складок. Влажный оттиск осторожно, не поправляя, накладывают на предварительно очищенное от пыли изделие, слегка прижимают его мокрой губкой и тщательно, не сдвигая и не

разрывая бумагу, прокатывают войлочным валиком для получения лучшего отпечатка рисунка. После снятия бумаги и некоторой подсушки изделия направляют для дальнейшей декоративной обработки, которая обычно состоит из ручной раскраски отпечатанного рисунка, обводки и т. п.

Краска для печати должна обладать достаточной вязкостью, хорошо переходить с печатной формы на бумагу и с бумаги на изделия, не расплываться на декорируемой поверхности и не слишком быстро сохнуть. Контур воспроизводимого рисунка должен быть четким и требуемой цветовой тональности.

В зависимости от особенностей декорируемой поверхности в состав краски входят подглазурные или надглазурные порошковые красители и связующие вещества, в качестве которых преимущественно используют олифу, минеральные масла и др.

При нанесении данной краски на обожженные неглазурованные изделия последние перед глазурованием необходимо прокаливать при температуре 600—800° С («прокурка»), так как в противном случае глазурь не будет приставать к участкам изделий, покрытым маслянистой краской. После этой операции краска легко стирается, размазывается и при небрежном обращении с изделиями может вызвать весьма распространенный дефект — помарку.

Для устранения таких недостатков и упрощения декорирования подглазурной печатью применяют краски, не требующие прокаливания перед нанесением глазури. В качестве связующих в состав их входят патока, глицерин, сахарный песок, а в некоторых случаях небольшое количество масел, которые удлиняют время высыхания, не оказывая вредного влияния при глазуровании изделий. Состав красок для различных видов глубокой печати приведен в табл. XIV.1.

Таблица XIV.1

Состав красок для глубокой печати, %

Компонент краски	Подглазурная печать		Надглазурная печать
	с предварительным прокаливанием	без прокаливания	
Порошковая сухая краска	45—55	50—53	58—73
Олифа	45—55	—	24—33
Трансформаторное масло	—	До 5	9—12
Глицерин	—	12—20	До 20
Сахарная патока	—	27—33	» 23
Сахарный песок	—	До 3	—

Шелкография. Сущность этого весьма прогрессивного метода декорирования заключается в том, что воспроизводимые рисунки наносят на переводную бумагу или непосредственно на изделия с помощью сетчатых трафаретов, через отверстия которых краску продавливают на декорируемую поверхность резиновой раклей или ро-

ликом. Благодаря возможности нанесения краски толстым слоем достигается большая яркость, сочность и рельефность изображений. По этой причине шелкографию стали применять для изготовления деколи, главным образом сдвижной [6, 7].

Сетчатые трафареты обычно изготовляют фотохимическим способом из шелковой, капроновой или другой синтетической сетчатой ткани (от 3200 до 3600 отверстий на 1 см²). Как показывает опыт работы, при повышенном количестве отверстий затрудняется нанесение краски, при пониженном — происходит расплывание контуров и искажение рисунка.

Ткань, натянутую и наклеенную на деревянную рамку или обечайку, широкой плоской кистью покрывают с обеих сторон равномерным слоем подогретой желатиновой светочувствительной эмульсии и подсушивают, в результате чего на ней образуется тонкая светочувствительная пленка. Эту операцию повторяют несколько (3—6) раз таким образом, чтобы обращенная к декорируемой поверхности сторона трафарета была совершенно ровной и гладкой.

В состав светочувствительной эмульсии входят желатин и бихромат калия или аммония, растворенные в воде с добавлением глицерина и спирта. Для получения необходимой толщины пленки в раствор вводят наполнители, например ликоподий, тальк, некоторые окислы металлов, не растворяющиеся в воде и не реагирующие с соединениями хрома.

На сетчатую ткань, обработанную описанным выше способом, накладывают диапозитив рисунка и светокопированием получают фотокопию воспроизводимого изображения. Под воздействием облучения, длительность которого устанавливают опытным путем, светочувствительная пленка твердеет и становится нерастворимой в воде, благодаря чему образуется закрытое поле трафарета. Участки пленки, защищенные рисунком, при проявлении снимка легко промываются теплой (30—40° С) водой, оставляя на сетке просветы, соответствующие требуемому изображению.

Во избежание засвечивания фотохимические операции выполняют при красном свете, а светочувствительную эмульсию хранят в темноте или светонепроницаемой таре.

При ручном нанесении рисунка непосредственно на изделия натянутый на рамку сетчатый трафарет неудобен, так как он плотно не прилегает к декорируемой поверхности. Для устранения этого недостатка сетку снимают с рамки и к одному ее краю прикрепляют фанерную планку-держатель, с помощью которой трафарет легко накладывается на обрабатываемую поверхность и плотно прилегает к ней.

Краски для шелкографии приготовляют путем тщательного смешивания сухого порошкового красителя (65—75%) со связующими веществами, в качестве которых обычно используют скипидарное масло (10—12%) и канифольно-скипидарную мастику (15—23%).

Применяя шелкографию при ручной работе, можно повысить в 2—3 раза производительность труда по сравнению с производительностью труда при обычном переводе оттисков рисунков с бумаги.

При этом отпадает необходимость в трудоемких граверных работах для изготовления печатных форм, требующих высокой квалификации исполнителей.

Еще более высокой производительности труда можно достичь при использовании действующих по данному принципу механических и автоматических устройств, которые применяют главным образом для нанесения изображений на плоские, а также полые изделия простой формы (цилиндрической, конической и т. п.).

Изделие (чашка, кружка), установленное в зажиме, либо надетое на патрон, с помощью ножной педали или автоматически прижимается снизу к сетчатому трафарету в том месте, где резиновая ракля продавливает краску, и при возвратно-поступательном движении рамки приводится во вращение, причем воспроизводимое изображение отпечатывается на боковой поверхности изделия.

Для нанесения бортовых рисунков на плоскую посуду (тарелки, блюдца, блюда) применяют кольцеобразные сетчатые трафареты. На декорируемую поверхность краску продавливают с помощью резинового ролика или ракли, которые автоматически передвигаются по окружности трафарета после того, как снизу к нему прижимается обрабатываемое изделие [1].

Методом шелкографии можно наносить как однотонные, так и многоцветные изображения. В последнем случае изделия раскрашивают с помощью нескольких полуавтоматов, установленных последовательно. Многоцветное печатание с использованием обычных красок возможно лишь при условии промежуточной подсушки каждого цветового оттиска, что весьма осложняет процесс декорирования.

Чтобы избежать промежуточной сушки отдельных оттисков, применяют терможидкие быстротвердеющие красители, которые наносят в нагретом состоянии через обогреваемые электрическим током сетчатые трафареты. При температуре, несколько превышающей комнатную (примерно 30° С), эти краски становятся текучими и почти мгновенно затвердевают при соприкосновении с холодной поверхностью декорируемых изделий. В состав таких терможидких красок входят сухие керамические красители и органическая связка, состоящая из смеси воскообразных веществ и термопластичных смол (канифоли, некоторых ее производных и т. п.), которые бесследно сгорают при последующем закрепительном обжиге декорированных изделий.

Декорирование штампом. Это один из наиболее простых способов подглазурного и надглазурного декорирования керамических изделий. Применяется как самостоятельный, но чаще всего как вспомогательный вид украшения, дополняющий ручную раскраску, обводку и др. Он является разновидностью высокой печати, при которой печатающие элементы, дающие оттиск изображения, возвышаются над общим уровнем печатной формы. Для печатания их покрывают тонким слоем краски, оставляя углубления чистыми, и переносят изображение путем прижатия формы к декорируемой поверхности.

При ручном декорировании пользуются штемпелями, состоящими из рукоятки с деревянной планкой, на которую наклеивают эластич-

ную упругую прокладку толщиной 6—10 мм обычно из губчатой резины, а затем каучуковое клише с рельефным изображением воспроизводимого рисунка. Штемпель прижимают к растертому на стеклянной палитре тонкому слою краски или препарата золота и затем с легким нажимом прикладывают его к декорируемому изделию, равномерно распределяя давление на всю поверхность штампа.

Для получения ясно очерченного отпечатка каждый раз набирают новую порцию краски и к раскрашиваемому месту прижимают штемпель лишь один раз, не допуская при этом сдвига и сминания рельефа рисунка. Для этого необходимо следить, чтобы краска не забивала углубления штампа, а также следует своевременно менять штемпели, дающие неясные расплывчатые оттиски, и промывать клише скипидаром или ацетоном.

Краски для надглазурного декорирования приготовляют на скипидаре, олифе, глицерине или патоке, для подглазурного — на глицерине и патоке. Консистенция их должна быть более жидкой, чем у применяемых для глубокой и шелкотрафаретной печати. Некоторые составы этих красок приведены в табл. XIV.2.

Таблица XIV.2

Состав красок для декорирования штампом, %

Компонент краски	Для подглазурного декорирования	Для надглазурного декорирования
Порошковая краска	47—55	70
Натуральная олифа	—	30
Глицерин	43—47	—
Сахар	2—6	—

При нанесении рисунка штампом пользуются также сгущенным препаратом золота, что способствует получению более четкого оттиска.

Простейшим приспособлением для нанесения бортового орнамента является штемпельный ролик, с рельефной поверхности которого рисунок вручную накатывают на декорируемое изделие. Приспособление состоит из деревянной рукоятки с укрепленными на ней двумя валиками: печатным, по окружности которого наклеено резиновое клише с изображением рисунка, и примыкающим к нему питающим валиком для набора краски или препарата золота с палитры и передачи их на рельефную поверхность штемпеля. Удерживая приспособление за рукоятку, штемпельный ролик прижимают к поверхности изделия и накатывают на нее рисунок, правильное положение которого фиксируется направляющей, скользящей по краю декорируемого предмета [5].

Эффективность этого приспособления значительно повышается при работе на станках, оборудованных вертикальными (для плоских изделий) и наклонными шпинделями (для полых), которые приводятся в медленное вращение электродвигателем. Декорируемые изделия

устанавливают в укрепленные на шпинделях держатели и во время их вращения прижимают к держателям штемпельный ролик для нанесения рисунка [8].

Тот же принцип используют в конструкциях полуавтоматов для декорирования штампом полых изделий.

В станке типа «Малкин 112/А» для нанесения бортового рисунка краска или препарат золота автоматически подается на стальной валик, с которого переносится на каучуковый питающий валик. Оба валика приводятся во вращение посредством гибкого вала. Рисунок наносится сегментным роликом с рельефным резиновым штемпелем, который вручную подводят к расположенному сверху питающему валику и после набора краски также вручную прижимают к декорируемому изделию, которое поворачивается в вакуумном зажиме вокруг горизонтальной оси. Производительность станка — 360 шт. изделий в час.

Машина для декорирования плоских изделий типа «Цайдлер» состоит из станины, на которой помещены салазки с гнездом для установки изделий, устройство для нанесения рисунка и палитра для краски. Салазки гидроприводом приводятся в возвратно-поступательное движение и подают загруженное на них изделие под штемпель, где оно автоматически центрируется. При выдвинутом положении салазок штемпель опускается вниз, набирает краску с питающего устройства и наносит оттиск рисунка на изделие при повторном опускании, совершаемом при вдвигании салазок. Одновременно приводится в действие механизм для нанесения свежей краски на палитру. Производительность машины около 1000 шт. изделий в час.

Отличительной особенностью отечественного полуавтомата [9], внедренного на Будянском фаянсовом заводе, является шестипозиционный карусельный стол с гнездами для установки декорируемых предметов, при периодическом повороте которого плоские изделия последовательно подаются на позиции нанесения клейкой мастики, припудривания сухой краской и удаления ее избытка.

Рисунок наносится штемпелем в виде надувной подушки с наклеенными на ней рельефными резиновыми штампами. Штемпель автоматически совершает поворотные и качательные движения, в процессе которых он набирает мастику с палитры и переносит ее на декорируемую поверхность. На следующей позиции с помощью подвижного рабочего органа и укрепленного на нем ватного тампона изделия покрываются порошковой краской, которая прилипает к мастике, воспроизводя рисунок. Избыток краски счищается вращающейся щеткой на позиции чистки. При небольшой переналадке полуавтомат может быть использован для декорирования изделий методом пульверизации или обводки. Производительность его составляет 600 шт. изделий в час.

В настоящее время все большее распространение получают машины для декорирования изделий методом офсетной печати, при которой рисунок передается с печатной формы любого вида сначала на поверхность эластичного промежуточного посредника (например, на гибкую резиновую или пластмассовую мембрану, грушевидную упру-

гую подушку и т. п.), а с нее — на бумагу или непосредственно на изделие.

В действующем по такому принципу полуавтомате «Муррей-ЗА» (рис. XIV.1) рисунок переносится на декорируемые изделия с гравированной доски, которая помещается в машине и автоматически покрывается краской. Избыток краски удаляется также автоматически. С помощью желатиновой подушки *1* особой формы, установленной на периодически опускающемся пуансоне *2*, краска берется с гравированной пластины и переносится на изделия, которые подаются под пуансон посредством подвижного стола *3*, совершающего возвратно-поступательные движения. На столе изделия автоматически центрируются. Привод полуавтомата — гидравлический, производительность — 400—500 шт. изделий в час.

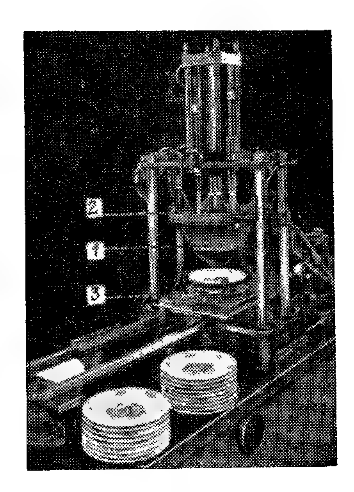


Рис. XIV.1. Полуавтомат для декорирования изделий методом офсетной печати

Благодаря автоматической подаче и съему, примененным в последних моделях, при которых загрузка и выгрузка декорируемых изделий производятся в стопках, один оператор может обслуживать 2—3 полуавтомата, в результате чего значительно повышается производительность труда.

Полуавтомат «Муррей» для клеймения дна плоских изделий и нанесения на них виньеток и рисунков небольших размеров состоит из смонтированного на столе пневматического устройства, автоматически совершающего возвратно-поступательные поворотные движения, в процессе которых оно снимает краску с гравированной пластины и с помощью желатиновой подушечки переносит ее на дно обрабатываемой посуды. Изделия, загруженные в полуавтомат стопками по 12—18 штук в положении вверх дном, с помощью вакуумного присоса перемещаются на позицию клеймения. Оператор снимает стопку из обработанных изделий. Он может обслужить 2—3 полуавтомата. Производительность одного полуавтомата для клеймения — 600—800 шт. изделий в час.

Декорирование аэрографом. Этот метод раскраски применяют для нанесения на изделия однотонных и теневых фонов, лент, а также одноцветных и многоцветных рисунков. Сущность его заключается в том, что с помощью особого пульверизатора, так называемого аэрографа, тонкораспыленную керамическую краску наносят на всю или только на часть поверхности декорируемого изделия, не защищенную трафаретом. Краска распыляется очищенным сжатым воздухом под давлением 196—294 кПа (2—3 ати).

Основными элементами аэрографа (рис. XIV.2) являются: резервуар для краски *1*; распыляющая форсунка, состоящая из ниппеля *2* с игольчатым клапаном *3* и регулирующего распыление наконечника *4*, закрепленного на корпусе аппарата *5* гайкой *6* и контргайкой *7*; устройство для включения и выключения аэрографа. При нажатии на ручку-курок *8* с накладкой *9* рычаг *10* воздействует на наконечник *11*, который посредством деталей *12* и *13* отодвигает дугу *14* со стойкой *15*, а вместе с ней и игольчатый клапан *3*, за счет чего

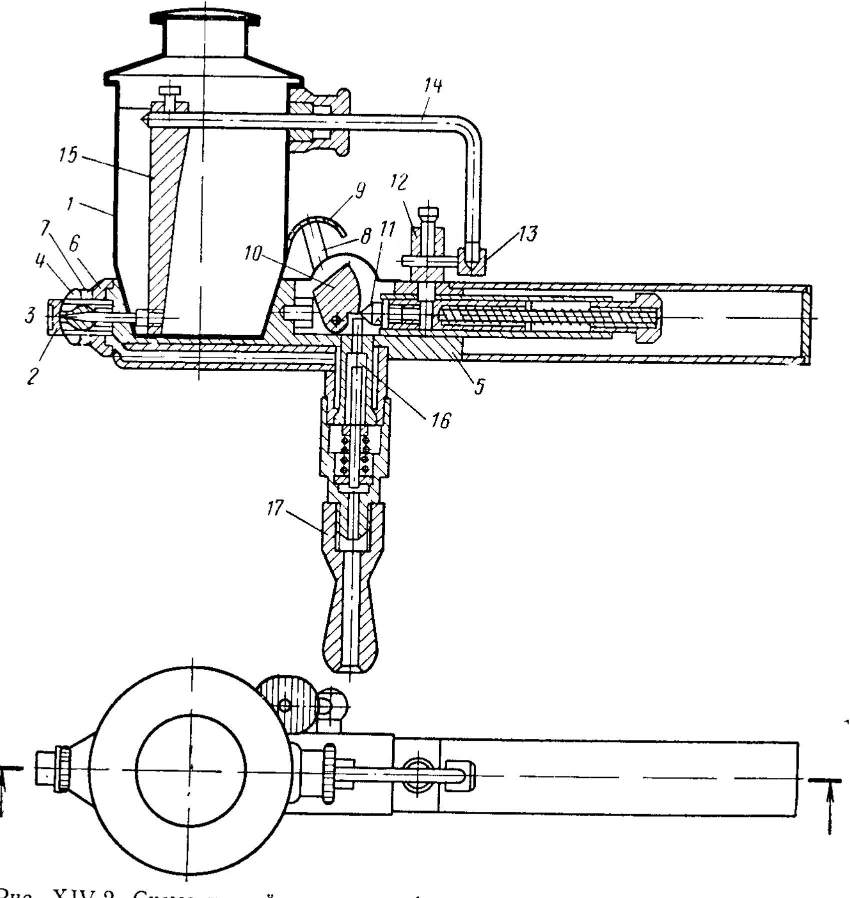


Рис. XIV.2. Схема устройства аэрографа

краска поступает из резервуара *1* в ниппель *16*. Одновременно рычаг *17* открывает клапан и пропускает сжатый воздух через наконечник шланга и аппарат к ниппелю *16*, в результате чего краска распыляется через зазор, образовавшийся между игольчатым клапаном *4* и ниппелем *16*. Диаметр выходного отверстия сопла обычно колеблется от 0,4 до 0,6 мм. Игла не должна выступать из сопла более чем на 0,5 мм, так как при этом нарушается равномерное распыление краски.

Декорирование аэрографом производят в специальных застекленных кабинах, размещенных на одиночных или многоместных столах и оборудованных интенсивной вытяжной вентиляцией для удаления

токсичной пыли. Во избежание загрязнения вентиляционных трубопроводов и снижения непроизводительного расхода краски рабочие места оборудуют краскоуловителями.

Трафареты, применяемые для нанесения рисунков и лент, представляют собой тонкие пластинки, выгнутые по форме декорируемого изделия и имеющие вырезы, соответствующие контуру наносимого рисунка. Их изготовляют из тонкого (до 0,3 мм) листового материала (свинцовой, цинковой или медной фольги, станиоля, пластмасс и др.) или получают фотомеханическим и гальванопластическим способами, а также штампованием.

При нанесении многоцветных рисунков применяют несколько разных трафаретов, вырезы в которых делают таким образом, чтобы совокупность всех красок давала воспроизводимое изображение. Трафареты должны плотно прилегать к декорируемой поверхности, так как в противном случае краска может попадать под них, вызывая расплывчатость контуров. Чтобы устранить засорение краской узких просветов трафарета, которое приводит к нарушению правильности рисунка, ширина их, как правило, должна быть не менее 1 мм. В процессе работы трафареты следует периодически промывать водой или скипидаром.

Краски, используемые для декорирования аэрографом, приготовляют путем тщательного растирания порошковых красителей с сухим декстрином или с 45—50%-ным водным его раствором. В качестве связующих веществ при надглазурной раскраске применяют также скипидар, смеси его с канифолью (в соотношении 1 : 1) и другие органические вещества. Растертую краску процеживают через сито № 1025 (2400 отверстий на 1 см^2).

Неправильное соотношение связующих в краске может вызвать ряд дефектов. При недостатке связующих краска легко стирается и осыпается при нанесении толстым слоем, избыток их приводит к закупорке сопла краской и затрудняет последующую прочистку так называемых резерважей, т. е. незакрашенных участков.

Состав красок для подглазурного и надглазурного декорирования аэрографом приведен в табл. XIV.3.

Таблица XIV.3

Состав красок для декорирования аэрографом, %

Компонент краски	Подглазурное декорирование		Надглазурное декорирование					
Порошковая краска	—	—	47,6	54,0	62,5	70,0	62,5	70,0
Окись кобальта черная	50,0—57,0	62,5	—	—	—	—		—
Сухой декстрин	—	—	4,8	5,5	—	—	—	—
Декстрин 50%-ной концентрации	—	8,3	—	—	6,2	7,0	—	—
Канифольно-скипидарная мастика	—	—	—	—	—	—	6,2	7,0
Скипидар	—	—	—	—	—	—	31,3	23,0
Вода	50,0—43,0	29,2	47,6	40,5	31,3	23,0	—	—

Для нанесения одноцветного рисунка на изделие, предварительно очищенное от пыли и других загрязнений, накладывают трафарет и нажатием на курок аэрографа открывают воздушный клапан, направляя струю распыленной краски на просветы в трафарете.

При многоцветном рисунке эту операцию повторяют несколько раз (соответственно числу применяемых красок), причем для нанесения каждой из них используют определенный трафарет. Каждый исполнитель наносит только одну краску. Декорируемые изделия проходят при этом через несколько рабочих мест, расположенных в ряд или по кругу.

Сплошные и теневые фоны применяют преимущественно в качестве вспомогательной раскраски, дополняющей ручную живопись и тому подобные работы.

Наиболее интенсивное окрашивание получается в центре распыляемой красочной струи, во всех радиальных направлениях тон краски постепенно затухает. Поэтому при нанесении так называемых нисходящих теневых покрытий, при которых цветовой тон постепенно ослабевает к ножке, струю краски направляют несколько выше края изделия с таким расчетом, чтобы поверхность его окрашивалась нижними лучами красочной струи. Для получения восходящего теневого покрытия изделия устанавливают на диск турнетки вверх дном. Чтобы в процессе аэрографии дно и внутренняя поверхность полых изделий не запылялись краской, их накрывают, например металлическим кружком.

Применяют также различные приспособления, защищающие ручки, ножки и края изделий от попадания краски, в результате чего повышается производительность труда и улучшается качество продукции [8].

При покрытиях в виде лент, расположенных по краю декорируемых изделий, специальным трафаретом закрывают ту часть их поверхности, которая должна остаться нераскрашенной, и наносят краску равномерным слоем.

Интенсивность окрашивания регулируют длительностью пульверизации и изменением расстояния между соплом аэрографа и декорируемой поверхностью, что зависит от ширины струи краски и особенностей декора. Для нормальных условий указанное расстояние составляет 15—20 см. При слишком большом приближении аэрографа может произойти подпыливание или подтекание краски под трафарет, вызывающее расплывание контуров рисунка. Если пульверизатор отведен слишком далеко, краска чрезмерно рассеивается и расход ее неоправданно возрастает. При пониженном давлении краска выбрасывается из сопла в виде нераспыленных хлопьев. Поступающий в аэрограф сжатый воздух должен быть очищен от пыли, конденсата и смазочных масел.

Если в сплошном надглазурном цветном покрытии должны оставаться незакрашенные участки, которые затем декорируют ручной живописью или другим способом, их очищают скипидаром.

Более производителен способ прочистки, при котором оставляемые незакрашенными участки предварительно покрывают через трафарет

защитным слоем мастики, состоящей из смеси глицерина, отмученного мела, литопона и т. п. После нанесения аэрографом сплошного красочного фона слой краски легко счищается с участков изделия, покрытых мастикой.

Помимо аэрографов для ручной раскраски, в тонкокерамической промышленности все шире используют полуавтоматические устрой-

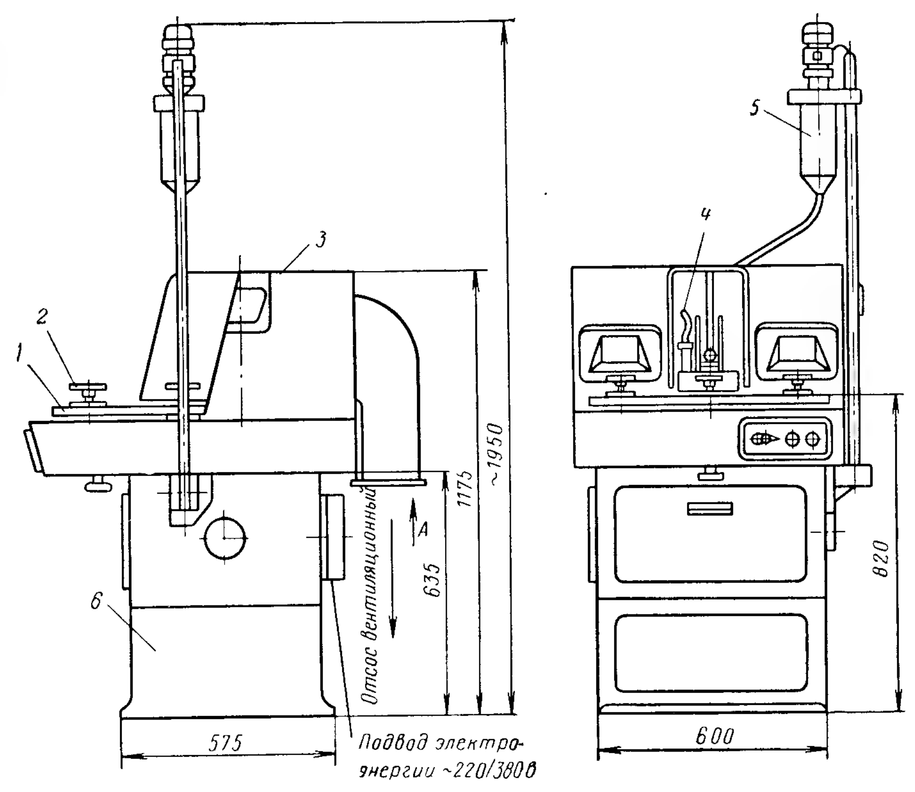


Рис. XIV.3. Схема полуавтомата для декорирования аэрографом

ства, позволяющие механизировать процесс декорирования, в результате чего значительно возрастает производительность труда и улучшается качество обработки.

Созданный на Дулевском фарфоровом заводе полуавтомат ПА-1 для декорирования чашек (рис. XIV.3) состоит из периодически поворачивающегося четырехпозиционного карусельного стола *1* с вращающимися турнетками *2* для установки изделий и камеры *3*, в которой помещается автоматически действующий пульверизатор *4*, совершающий качательные движения вверх и вниз. На позиции загрузки чашки вручную устанавливают на диск турнетки и покрывают шаблоном. При автоматическом повороте стола чашки подаются в распылительную камеру, где струей распыленной красочной суспензии, поступающей из бака *5*, покрываются в местах, не закрытых трафаретом. При следующем повороте стола декорированные изделия поступают на позицию разгрузки и после удаления трафарета снимаются с турнетки. Пульверизатор *4* включается после останова карусельного стола и выключается перед очередным его поворотом автоматически. Механизмы для поворота стола *1* и работы пульверизатора смонтированы в пустотелой станине.

В полуавтомате ПА-2 для декорирования плоских изделий (блюдец, тарелок) предусмотрено устройство для автоматического наложения и снятия трафаретов, что существенно улучшает эксплуатационные его показатели.

Производительность полуавтоматов ПА-1 и ПА-2 — 450 шт. изделий в час при обслуживании одним рабочим.

Полуавтоматы для декорирования изделий пульверизацией могут быть также использованы при нанесении цветных глазурей.

Обводка изделий. При декорировании способом обводки краску или препарат драгоценного металла наносят на изделия в виде лент разной ширины, линий шириной до 1 мм (так называемых усиков), а также обводят края и покрывают выступающие части изделий (ручек, носиков и т. п.).

Обводку предметов, имеющих форму тела вращения, выполняют на приводимых во вращение от руки или от электродвигателя турнетках, смонтированных на установленной на полу стойке, позволяющей изменять высоту расположения обводочного диска. Для сокращения длительности центрирования изделий на диск турнетки надевают сменные покрышки с концентрическими канавками, диаметр которых соответствует диаметру ножки обрабатываемого изделия.

Края овальных предметов, так же как ручки, носики и другие выступающие детали, раскрашивают вручную без турнетки. Для работы пользуются беличьими (при надглазурной раскраске) или колонковыми (при подглазурной раскраске) кистями: тупоносыми — для нанесения лент, скошенными и с заостренным концом — для обводки усиков и края. Наряду с этим применяют различные приспособления, выполненные по типу автоматических пишущих ручек и позволяющие значительно повысить производительность труда [5].

Приспособление для нанесения лент и обводки состоит из полой рукоятки, в один торец которой вставлена через уплотняющую прокладку трубка небольшого диаметра (3—5 мм). Выходное отверстие этой трубки закрывают вырезанной из тонкопористой губки пробкой, выступающей из сопла на одну треть своей длины, т. е. примерно на 1 мм. С помощью винта на рукоятке закрепляют направляющую шину, скользящую при обводке по борту обрабатываемого предмета, удерживая обводочную трубку на требуемом расстоянии от края изделия. На другой торец рукоятки надевают резиновый шланг, заполняемый приготовленной краской или препаратом жидкого золота.

Аналогичным образом устроена полуавтоматическая кисть для нанесения лент и ободков, которая по присоединенному к ее ручке резиновому шлангу непрерывно питается краской из бачка, снабженного размешивающим механизмом и установленного над рабочим местом исполнителя по обводке изделия. В ручке краска проходит через

тонкую резиновую трубку с пружинным зажимом, отходящим при нажатии клапана и открывающим краске свободный доступ к кисти [5].

При нанесении усиков золотом пользуются рейсфедером, снабженным тонкой (1—1,5 мм) металлической трубкой, по которой краска или препарат золота подается к губке [5].

Краски, применяемые для обводки изделий, должны обладать достаточной текучестью, обеспечивающей легкое стекание их с кисти и с приспособлений для обводки. При нанесении подглазурных лент и обводок в качестве связующих компонентов краски обычно используют глицерин или раствор декстрина, при надглазурном декорировании — скипидар и канифольно-скипидарную мастику (50—65% канифоли + 35—50% скипидара).

В последние годы при декорировании обводкой применяют полуавтоматические и автоматические машины, в которых наносят ленты с помощью специальных инструментов, автоматически питаемых краской или препаратом жидкого золота.

Основными рабочими органами таких полуавтоматов являются: шпиндельные устройства, на которых изделия, устанавливаемые вручную, автоматически центрируются, закрепляются, например посредством вакуума, и приводятся во вращение вокруг вертикальной оси, устройства для нанесения обводки, декорирующие элементы которого в виде роликов, трубочек, перьев или кистей также автоматически приводятся в соприкосновение с поверхностью обрабатываемых изделий. Производительность полуавтоматов — 350—600 шт. изделий в час в зависимости от размеров декорируемых изделий.

В автоматических машинах для обводки изделий в отличие от полуавтоматических установка и съем обрабатываемых изделий осуществляются механическим способом, без участия человека, благодаря чему достигается значительный рост производительности труда. В перспективных машинах этого типа, предназначенных для поточных линий декорирования плоской посуды, тарелки передаются с помощью транспортирующего устройства. Производительность машины 1200—1500 шт. изделий в час. Мощность электродвигателя 0,25 кВт, масса машины 150 кг. Расход воздуха 3 м^3/ч.

Ручная роспись. По степени художественной ценности, сложности и трудоемкости исполнения живописные работы могут быть разделены на следующие группы:

1) высокохудожественные, преимущественно полихромные живописные работы со сложной и оригинальной тематикой, имеющие в большинстве случаев уникальный характер;

2) средней сложности, заключающиеся в воспроизведении и многократном повторении рисунка на изделиях согласно заданному образцу;

3) ручные работы для изделий массового выпуска, т. е. исполнение несложных рисунков в стиле так называемой манерной живописи, раскраска контурных рисунков, нанесенных методами печатания живописные дополнения к трафаретным рисункам и обводке лентами, отделка декалькомании и т. п.

Основными инструментами, применяемыми для ручной раскраски, являются кисти, форма и размеры которых зависят от особенностей выполняемых работ.

Кисти должны быть из мягкого и эластичного волоса. Они не должны сохранять плоскую форму, принимаемую ими в процессе раскраски из-за испытываемого бокового давления. Этим требованиям в большей мере отвечают кисти из беличьего, колонкового и куньего волоса, которые обычно применяют при ручной росписи.

Другими инструментами и приспособлениями, необходимыми живописцу для работы, являются: стальной, роговой или пластмассовый шпатель для набора и перемешивания используемых красок; стеклянные пластины-палитры и курант для растирания; скипидарница в виде двух-трех входящих друг в друга небольших сосудов для хранения скипидара и получения скипидарного масла, образующегося в результате воздействия кислорода воздуха на скипидар и частичного испарения легкоулетучивающихся компонентов; гравировальный резак; стальное перо для нанесения тонких штрихов и линий; графитовый или цветной жировой карандаш с органическим красителем для предварительной разметки и нанесения контуров рисунка на декорируемые изделия.

Живописные работы выполняют на специально оборудованных рабочих столах.

Декорирование препаратами драгоценных металлов. Кроме красок, для надглазурного декорирования тонкокерамических изделий широко используют препараты драгоценных металлов, главным образом препараты жидкого и порошкового золота и серебра.

Препарат жидкого золота, содержащий от 10 до 15% драгоценного металла, применяют для декорирования в чистом виде или предварительно разбавляют бензолом, скипидарным, лавандовым или другим эфирным маслом до получения желаемой концентрации золота. В процессе последующего закрепительного обжига, осуществляемого при температуре 600—800° С, все органические составляющие жидкого золота сгорают, оставляя на изделиях тончайшую блестящую металлическую пленку толщиной 0,05—0,1 мкм. С понижением содержания золота препарат способен выдерживать менее высокую температуру обжига и менее прочно держится на декорированной поверхности. Поэтому снижение концентрации металлического золота ниже 10% не рекомендуется.

Порошковое золото обычно содержит 52, 63 и 72% драгоценного металла. Для нанесения на декорируемые изделия его смешивают со связующими веществами (бензолом, канифольно-скипидарными мастиками, лавандовыми или другими эфирными маслами).

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Беркман А. С. и др.** Декорирование фарфора и фаянса. М., Гизместпром, 1949. 132 с.
2. **Визир В. А., Мартынов М. А.** Керамические краски. Киев, «Техника», 1964. 251 с.
3. **Liebscher I., Willert F.** Technologie der Keramik. Leipzig, VEB Verlag der Kunst, 1955. 410 s.

4. **Милдс М., Лаушке Р.** Роспись фарфора. М., «Легкая индустрия», 1971. 274 с.
5. **Bautze H. u. a.** Technologie der Feinkeramik. Leipzig, VEB Deuscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1970. 281 s.
6. **Городов Н. Н.** Декорирование фарфоровых и фаянсовых изделий методом печатания через шелковую сетку. Листок изобретателя и рационализатора № 138. Л., Издание ГИКИ, 1959, с. 3.
7. **Городов Н. Н.** Декорирование хозяйственного фаянса по методу шелкографии. Листок изобретателя и рационализатора № 223. Л., Издание ГИКИ, 1965, с. 3.
8. **Городов Н. Н. и др.** Новая техника в производстве фарфора и фаянса. М., «Детский мир», 1958. 288 с.
9. **Мороз И. И.** Автоматизация производства фарфоро-фаянсовых изделий. Киев, «Техника», 1965. 259 с.
10. **Цындря Т. И.** Изготовление декалькомании. Л., Госхимтехиздат, 1932. 134 с.
11. **Булавин И. А.** Оборудование фарфоровых и фаянсовых заводов. М., Гизместпром, 1940. 311 с.

ГЛАВА XV

ПРОИЗВОДСТВО ГИПСОВЫХ И ПЛАСТМАССОВЫХ ФОРМ

1. ФОРМОВОЧНЫЙ ГИПС И ЕГО СВОЙСТВА

Для изготовления гипсовых форм, капов и моделей, используемых в тонкокерамическом производстве, применяют формовочный гипс, представляющий собой порошок полуводного сернокислого кальция $CaSO_4 \cdot 0{,}5H_2O$, получаемого путем помола и термической обработки природного гипсового камня при температуре 120—170° С. Гипсовый камень должен удовлетворять требованиям ГОСТ 4013—61, предъявляемым к I сорту.

В интервале температур 107—170° С двугидрат постепенно теряет 1,5 молекулы воды и переходит в полуводный гипс плотностью 2,6—2,75 г/см^3, содержащий около 6,2% кристаллизационной воды. В зависимости от режима термической обработки при этом образуются α- и β-модификации полугидрата. В производстве гипсовых форм используют β-модификацию полугидрата. β-Модификация полугидрата обладает высокой дисперсностью и мелкими, плохо выраженными кристаллами. Из него получают менее прочные отливки с большой водопоглотительной способностью.

Литье гипсовых форм основано на свойстве формовочного гипса образовывать при смешивании с достаточным (60—80%) количеством воды шликероподобную, текучую суспензию, быстросхватывающуюся и твердеющую на воздухе благодаря способности полугидрата присоединять кристаллизационную воду и переходить в двугидрат. Явление схватывания обусловлено бо́льшей растворимостью полуводного гипса (10,5 г/л) по сравнению с двуводным (2,6—2,7 г/л). Вследствие этого раствор становится пересыщенным по отношению к образующемуся двугидрату, избыток которого выделяется в виде переплетенных между собой игольчатых кристаллов. Растворение полугидрата и кристаллизация двугидрата продолжаются до окон-

чания процесса гидратации. Схватывание сопровождается выделением тепла и повышением температуры затворенного гипса. При этом происходит некоторое увеличение его объема, что способствует точной передаче формы всех деталей модели.

Кристаллизация полугидрата длится 25—30 мин и разделяется на периоды текучести, начала и конца схватывания. Нормальная длительность этих периодов составляет соответственно 7, 15 и 25 мин от начала засыпания гипса в воду.

При использовании пережженного гипса с пониженным содержанием гидратной воды, а также с уменьшением количества затворяемой воды и снижением крупности гипсового порошка схватывание ускоряется.

Схватившийся гипс приобретает максимальную прочность при содержании воды примерно в количестве 21%, что соответствует формуле $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Для затворения гипса теоретически требуется, таким образом, около 14—16% воды. Практически же ее добавляют в количестве 60—80% от массы сухого порошка для обеспечения нужной текучести гипсового раствора, необходимой для литья форм, и создания среды, способствующей растворению полугидрата и кристаллизации образующегося двугидрата. Излишнее количество воды (более 21%) механически удерживается в гипсовых отливках и легко удаляется при сушке, способствуя образованию в гипсовых формах мелких пор, через которые отсасывается вода из керамической массы.

Формовочный гипс для фарфоро-фаянсовой промышленности должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к полугидрату I сорта, согласно МРТУ 21-31—67.

Гипс легко поглощает влагу из воздуха и при хранении в открытых складах частично гидратизируется, комкуется и с течением времени может прийти в полную негодность.

Как показали исследования [1], пористость, всасывающая способность, механическая прочность и долговечность гипсовых форм обусловлены главным образом качеством формовочного гипса и количеством затворяемой воды.

Наиболее существенное влияние на свойства гипсовых форм оказывает так называемый водогипсовый фактор, выражающий соотношение формовочного гипса и воды в смеси.

Путем изменения этого соотношения можно в некоторой степени регулировать пористую структуру гипсовых форм и, в частности, изменять радиус образуемых порами капиллярных каналов, от которого зависит величина капиллярных сил, обусловливающих интенсивное отсасывание влаги из керамической массы.

В зависимости от требуемых по технологическим условиям пористости и прочности гипсовых форм при их изготовлении рекомендуется соблюдать следующее соотношение между гипсом и затворенной водой: для отливок нормальной крепости (формы для формования изделий на шпиндельных станках и для литья тонкостенных изделий) — 56 : 44, для отливок повышенной крепости (формы для механизированного формования изделий на автоматах и полуавтоматах) — 60 : 40, для отливок пониженной крепости (формы для литья

толстостенных изделий и формования капселей) — 50 : 50, при изготовлении капов и моделей — 67 : 33.

При повышении тонины помола формовочного гипса количество затворяемой воды возрастает, что приводит к уменьшению прочности отливок. Прочность их снижается также при использовании гипса и воды, сильно загрязненных посторонними примесями.

Гипсовый раствор необходимо приготовлять следующим образом. Отмерить и залить в сосуд для затворения установленное количество воды (лучше подогретой до температуры 35—40° С). Широкой непрерывной струей засыпать в нее дозированную порцию гипсового порошка и дать возможность насытиться влагой (0,5—1,0 мин), после чего в течение 1—2 мин тщательно размешать образовавшуюся смесь с помощью винтовой или лопастной мешалки, не допуская образования комков и попадания воздуха. В размешиваемый раствор не рекомендуется добавлять новые порции гипса или воды. Превышение длительности размешивания приводит к нарушению структуры и снижению прочности гипсовых отливок.

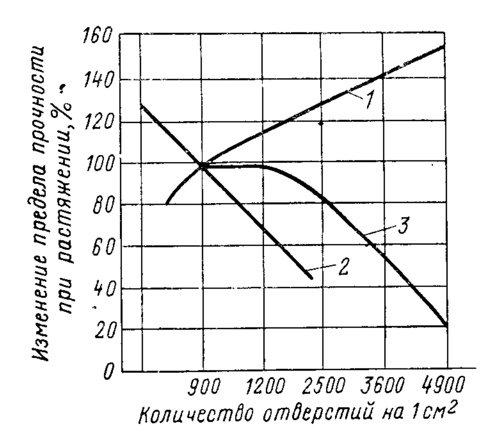


Рис. XV.1. Графики относительного изменения прочности гипсовых отливок в зависимости от технологических факторов:

1 — от степени измельчения гипса; *2* — от соотношения гипса и воды по массе; *3* — от продолжительности размешивания

Приготовленный гипсовый раствор необходимо сразу же использовать, а сосуд и размешивающее устройство тщательно промыть до полного удаления остатков гипса. В противном случае при затворении произойдет слишком быстрое схватывание.

Относительное изменение механической прочности гипсовых отливок в зависимости от степени измельчения формовочного гипса (кривая *1*), соотношения массы воды и гипса (кривая *2*) и длительности размешивания раствора (кривая *3*) характеризует диаграмма, изображенная на рис. XV.1 [2].

Как показывает опыт работы, качество гипсовых форм улучшается при размешивании гипсового раствора под разрежением, так как благодаря удалению воздуха под воздействием вакуума плотность, однородность и прочность отливок увеличиваются [3].

Схема устройства механизированной установки для приготовления и вакуумирования гипсового теста [4] показана на рис. XV.2.

Установка включает: бункер *1* для хранения запаса формовочного гипса, которым он заполняется с помощью ковшового элеватора или пневматическим способом; транспортирующий шнек *2* с приспособлением *3* для засыпания гипса; автоматические весы *4* для взвешивания гипсового порошка; магнитный клапан *5* для объемного дози-

рования воды; вакуумный колокол *6* с размешивающим устройством и вакуумным насосом; станцию автоматического управления приготовлением гипсового раствора по заданной программе *7*.

Из расходного бункера формовочный гипс автоматически засыпается в установленный на весах сосуд, заполненный отмеренным количеством воды, и строго дозируется в соответствии с регламентированным соотношением воды и гипса. Затем сосуд передвигается по рольгангу под вакуумный колокол, который пневматическим путем периодически опускается и поднимается вместе с мешалкой. По истечении срока размешивания под вакуумом, длительность которого регулируется автоматически, сосуд с готовым гипсовым раствором выдвигается из-под поднявшегося вакуумного колокола и направляется по рольгангу к месту заполнения капов.

Применяемая для тех же целей автоматизированная установка, работающая по карусельному принципу [5], состоит из периодически поворачивающегося многопозиционного стола, на котором последовательно выполняются операции приготовления гипсового раствора. На 1-й позиции компоненты смеси автоматически дозируются в расположенные по окружности стола цилиндрические сосуды (гипсовый порошок — по весовой массе, а вода — по объему). На 2-й позиции раствор интенсивно перемешивается с помощью быстровращающейся турбинки и из него под вакуумом удаляется воздух. На следующей позиции готовое тесто выжимается из цилиндрического сосуда под равномерным давлением и используется для отливки форм. При каждом рабочем ходе машина автоматически очищается, чтобы остатки раствора не влияли на сроки схватывания новых его порций.

Рис. XV.2. Схема механизированной установки для приготовления и вакуумирования гипсового теста

Производительность описанного карусельного устройства, которое обычно размещают в непосредственной близости к конвейеру поточной линии отливки гипсовых форм, составляет до 2000 л гипсового раствора в час.

2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГИПСОВЫХ ФОРМ

К гипсовым формам для производства керамических изделий предъявляют следующие требования:

водопоглощение должно быть в пределах 33—35% при пластическом формовании и 35—40% при формовании методом литья;

влажность должна равняться 4—6%;

механическая прочность должна обусловливать длительный срок службы изделий;

конфигурация и размеры должны соответствовать чертежам;

отдельные части формы должны быть тщательно собраны;

на рабочей поверхности не должно быть царапин, щербин, неровностей и затвердений, отбитостей и т. п.;

должны быть обеспечены соосность посадочных конусов с рабочими поверхностями и точность посадки их в гнезда формовочных станков и машин, обеспечивающие плавное (без эксцентриситета) вращение форм в процессе формования.

Удовлетворение этих требований достигается путем применения доброкачественного формовочного гипса, точным соблюдением методики приготовления гипсового раствора и технологии литья, сушки и последующей обработки гипсовых отливок.

Производство гипсовых форм включает ряд работ, характеризующихся различной сложностью и трудоемкостью и требующих разной квалификации исполнителей. К таким работам относятся изготовление моделей, маточных форм, маточных капов и устройств (пристроев) для отливки рабочих капов, в которых затем отливают гипсовые формы.

Изготовление модели, т. е. точной копии воспроизводимого предмета, модельщик выполняет в натуральную величину.

Для повышения прочности моделей и других гипсовых отливок (маточных форм и капов, пристроев и т. п.), применяемых при изготовлении гипсовых форм, их пропитывают олифой или покрывают спиртовым лаком (1 мас. ч. шеллака и 3 мас. ч. гидролизного спирта).

Дальнейшее изготовление гипсовых форм рассмотрим на примере капов и форм для формования чашек (см. рис. XV.3).

По выполненной модели сначала отливают первичную негативную, или так называемую маточную форму, которую используют для получения нескольких образцов обожженных изделий, чтобы проверить, в какой мере конфигурация, размеры и емкость их отвечают оригиналу. Поскольку такие образцы не всегда удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям, в модель приходится вносить поправки и отливать новые маточные формы, иногда даже по нескольку раз.

Для изготовления маточной формы устанавливают разъемную металлическую обечайку *1* вокруг верхнего уступа *2* модели *3* (рис. XV.3, *в*) и пространство между ними заливают гипсовым раствором. Чтобы предотвратить прилипание раствора к модели, поверхность ее предварительно покрывают с помощью мягкой кисти равномерным тонким слоем мыльномасляной эмульсии, состоящей из

насыщенного водного раствора мыла, смешанного с растительным или минеральным (трансформаторным, веретенным и т. п.) маслом (55—70% воды, 40—10% ядрового или детского мыла, 5—20% масла). После отвердения гипса обечайку снимают и отливку обтачивают до получения требуемых наружных очертаний маточной формы *4*.

По маточной форме, предварительно смазанной мыльномасляной эмульсией, отливают модель кожуха *5*, образующей вместе с капом (копией) модели *3* маточный кап. Для этого обечайку устанавливают вокруг нижнего выступа основания капа модели и заливают гипсовый раствор. После отвердения раствора обечайку снимают и наружную поверхность кожуха обтачивают до требуемых очертаний (рис. XV.3, *г*). Модель кожуха используют затем для отливки кожуха *6* к рабочему капу.

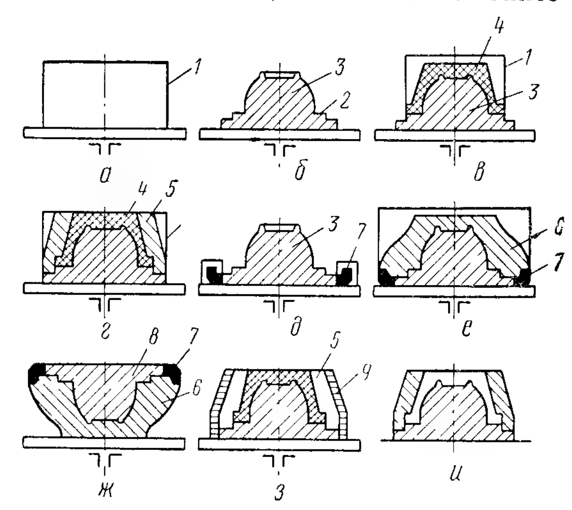


Рис. XV.3. Схема изготовления модели, капа и формы для чашек

Изготовление рабочих капов, являющихся копиями маточного капа, заключается в размножении его для получения количества экземпляров, требуемых при литье гипсовых форм. Для отливки отдельных частей капа пользуются специальными пристроями.

Нижнюю часть пристроя для размножения капов (копий) модели *3* изготовляют следующим образом. Основание модели смазывают мыльномасляной эмульсией и снаружи его окружают низкой обечайкой. Между нею и полотном модели, край которой предварительно обкладывают слоем массы, заливают гипсовый раствор. После отвердения гипса обечайку снимают и обрабатывают наружную поверхность кольца *7*, образующего нижнюю часть пристроя (рис. XV.3, *д*). Верхнюю часть пристроя отливают по собранным вместе модели *3* и кольцу *7*, соединенных обечайкой. После схватывания гипса обечайку снимают, тонкой стальной циклей разрезают отливку по радиусу от центра до края и обтачивают наружную ее поверхность до требуемых очертаний (рис. XV.3, *е*).

Пользуясь пристроем, отливают необходимое количество капов *8* модели *3* (рис. XV.3, *ж*), которые вместе с изготовляемыми аналогичным способом копиями *9* модели кожуха *5* (рис. XV.3, *з*) образуют рабочие капы (рис. XV.3, *и*) для литья гипсовых форм.

Для повышения механической прочности капов и моделей в формовочный гипс добавляют 10—15% силикатного цемента, а также

в отливки закладывают проволочные каркасы или металлические прутья, которые во избежание появления ржавчины предварительно покрывают спиртовым лаком. От рабочей поверхности формы, капа или модели каркас должен находиться на глубине не менее 10 мм.

Если модель имеет сложную конфигурацию, например при изготовлении скульптур, изделий с выпуклыми извилистыми очертаниями, выступающими деталями и т. п., часто не представляется возможным получить цельные формы и приходится делать их разборными, состоящими из двух и более частей. Чтобы половинки формы точно совпадали и не смещались, их снабжают замковыми устройствами в виде выступов (шипов) на одной разъемной части формы, которые плотно входят в соответствующие углубления в соединяемой с нею части [6].

Формы с конфигурацией тела вращения обрабатывают на шпиндельных станках, а остальные — вручную.

Оправленные гипсовые формы сушат до получения остаточного влагосодержания в количестве 4—6%, используя для этого камерные, туннельные или конвейерные сушилки [4], а в некоторых случаях открытые стеллажи. Во избежание дегидратации гипса и разрушения форм температура сушки, а также температура, при которой формы будут эксплуатироваться, не должна превышать 70° С.

Рабочую поверхность новых форм перед употреблением следует протереть 2%-ным раствором кальцинированной соды для удаления оставшихся следов мыльномасляной эмульсии, препятствующих равномерному всасыванию влаги и вызывающих прилипание массы.

Длительность срока службы гипсовых форм характеризуется кратностью их использования до износа, которая при прочих равных условиях зависит от ассортимента и методов формования вырабатываемых изделий. С учетом качества формовочного гипса, отвечающего требованиям МРТУ 21-31 —67, гипсовые формы используют 50—120 раз. Удельный расход формовочного гипса на 1 т готовой продукции составляет 0,12—0,2 т для хозяйственного фарфора и 0,1—0,15 т для хозяйственного фаянса.

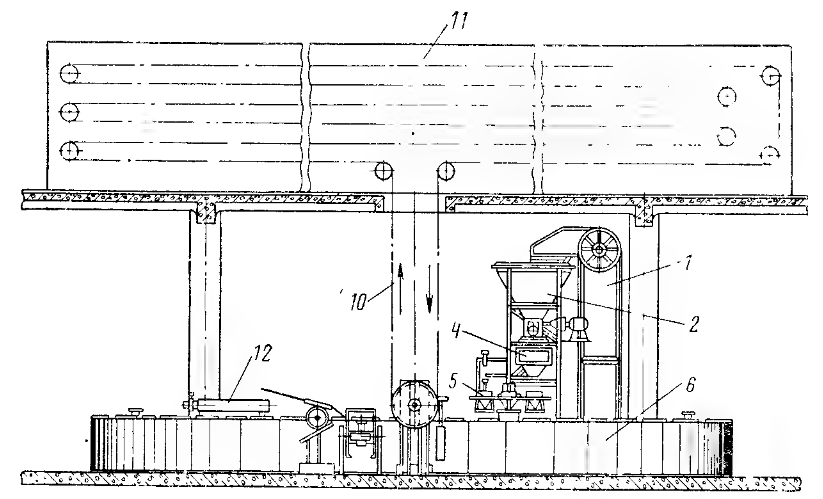
На удлинение срока службы форм благоприятно влияет обработка наружной нерабочей поверхности 40—50%-ным раствором сульфитноспиртового экстракта [7] или 2%-ным раствором поливинилового спирта [8] с последующей сушкой при температуре 60° С до влагосодержания 4—6%.

Отливка гипсовых форм на стационарных литейных столах, при которой все операции выполняют вручную, трудоемка и требует значительных физических усилий. Эти недостатки устраняются при организации литья форм поточным методом.

Схема устройства автоматизированной поточной линии литья форм для тарелок, разработанная ГИКИ совместно с кафедрой машин и аппаратов Ленинградского технологического института имени Ленсовета, показана на рис. XV.4.

Гипсовый порошок транспортируется ковшовым элеватором *1* или пневматически в расходный бункер *2*, под которым установлен

шнековый питатель *3*, подающий гипс для дозирования на автоматические весы *4*. Отсюда он попадает в один из шести бачков, оборудованных мешалками и расположенных по окружности карусельного стола *5*, периодически поворачивающегося на 60°. На шести пози-



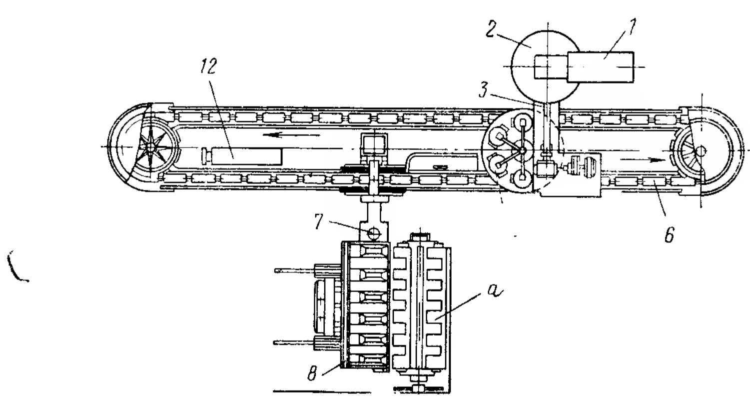


Рис. XV.4. Схема автоматической линии литья гипсовых форм для тарелок

циях этого стола последовательно выполняются операции автоматической заливки в каждый сосуд дозированного количества воды, засыпки порции сухого гипса, размешивания смеси, подачи раствора в литьевые отверстия капа, промывания бачка и слива загрязненной воды.

Изготовленные из износостойкого материала (алюминия, пластмассы и т. п.) рабочие капы (50 шт.) укреплены на платформах горизонтально-замкнутого конвейера *6*, который периодически перемещает их на шаг, равный 400 мм. При заданном ритме работы длительность периода схватывания составляет 25 мин.

По окончании схватывания кап *7* с отлитой формой подходит к специальному механическому устройству, где с помощью двух сверл удаляется гипс, затвердевший в литьевых отверстиях. После этого кап поступает на позицию выемки форм, где особый механизм сначала откидывает крышку капа, затем переворачивает его и передает гипсовую форму на боковой конвейер, транспортирующий ее к месту контроля. В дальнейшем переставитель *8* устанавливает проверенные формы на полку *9* выносной цепи *10* конвейерной сушилки *11*, расположенной этажом выше.

Свободный от гипса кап автоматически очищается от остатков гипсового раствора, и его рабочую поверхность с помощью пульверизатора покрывают масляной пленкой. Затем кап закрывается и передвигается на конвейере к месту заливки для следующего заполнения.

Синхронизация работы всех узлов поточной линии осуществляется автоматическим командоаппаратом *12*, воздействующим на пневматические исполнительные механизмы.

Техническая характеристика автоматизированной поточной линии литья форм для тарелок

Длина конвейера, м	12
Габарит поточной линии, м:	
длина	12
ширина	3,5
Установленная мощность электродвигателей, кВт	5
Производительность поточной линии при обслуживании двумя рабочими, шт. тарелочных форм в смену	960

3. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МОДЕЛЕЙ, КАПОВ И ПОРИСТЫХ ФОРМ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, КРОМЕ ГИПСА

Из-за сравнительно небольшой прочности гипсовых отливок для изготовления моделей и капов в последнее время все шире применяют более износостойкие материалы, например серографитовые и серотальковые массы, синтетические смолы и металлы (алюминий, бронзу и т. п.).

По данным Первомайского фарфорового завода, наилучшие результаты получены при изготовлении капов из серотальковой массы (69% серы и 31% талька), отличающейся от серографитовой более высокой текучестью, меньшим пенообразованием расплава, большей механической прочностью отливок, высококачественной поверхностью и меньшей стоимостью получаемых капов [6].

Сравнительно невысокая прочность и малая длительность службы гипсовых форм обусловили изыскание нового материала для их изготовления, обладающего более высокой износостойкостью.

Как показали исследования ГИКИ, таким свойством обладают поливинилхлоридные формы, кратность использования которых достигает 4000—5000 раз. Они имеют также небольшую плотность (0,92—1,0 г/см^3) и лучшую устойчивость к темпертурным воздействиям, что позволяет сушить формованные изделия при более высокой температуре — 70—75° С (гипсовые формы сушат при температуре 60—65° С).

В качестве исходного материала для изготовления таких форм используют тонкодисперсный латексный поливинилхлорид ПВХЕ-62 (ГОСТ 14039—68), который перед употреблением сушат при температуре 125—135° С до влагосодержания не более 1% и появления бледно-розовой окраски, а затем просеивают через сито № 05 (193 отверстия на 1 см^2) во избежание комкования.

Формы получают методом вибропрессования в металлических пресс-формах, укрепленных на виброплощадке, приводимой в колебательное движение с амплитудой 0,5—1,0 мм при частоте 50 колебаний в секунду. Оснастку конструируют с таким расчетом, чтобы в формах для плоской посуды очертания рабочей поверхности создавались внутренней стороной матрицы, а в формах для полых изделий — наружной стороной пуансона, входящего в матрицу.

Дозированную по массе порцию поливинилхлорида (величину дозы определяют экспериментальным путем для каждого вида изделий) засыпают в матрицу пресс-формы и с помощью гребенки разравнивают так, чтобы слой порошка на поверхности ее имел примерно одинаковую толщину. Заполненную поливинилхлоридом матрицу накрывают пуансоном, к которому крепят пригрузы, подобранные таким образом, чтобы все участки формуемого изделия подвергались равномерно распределенному давлению в $5 \cdot 10^3$ Па. После вибропрессования, осуществляемого в два приема в течение 13—20 с, пресс-форму помещают вместе с пригрузами в термостат или печь при температуре 190—200° С для спекания (полимеризации) спрессованного между пуансоном и матрицей порошка поливинилхлорида в однородную пористую массу. Длительность термической обработки (1—3 ч) зависит от размеров и массы изготовляемых изделий.

По окончании термической обработки извлекают пресс-форму, помещают на винтовой пресс для подпрессовывания, заменяющего операцию калибрования. Под прессом формы выдерживают в течение 10—15 мин. Подпрессованную пресс-форму охлаждают до температуры 40—60° С, разделяют с помощью отжимных винтов и из нее извлекают готовую поливинилхлоридную форму.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Будников П. П.** Гипс, его исследования и применение. М.—Л., Издание АН СССР, 1943. 377 с.
2. **Городов Н. Н. и др.** Новая техника в производстве фарфора и фаянса. М., «Детский мир», 1958. 288 с.
3. **Хорьков П. Н., Кривоносова Н. Т.** Влияние дезаэрации гипсового раствора на качество гипсовых форм для изготовления санитарного фаянса.— «Стекло и керамика», 1970, **1**, с. 176—179.
4. **Pfuhl H.** Evakuierung des Formgipses in der keramischen Industrie. «Keramische Zeitschrift», 1962, **6**, s. 347—358.
5. **Ein** vollautomatischer Vakuummischer zur Aufbereitung keramischer Formgipse. «Glass-Email-Keramik-Technik», 1961, **8**, s. 308.
6. **Швачинский П. Н.** Технология изготовления гипсовых форм в керамике.— «Стекло и керамика», 1949, **8**, 20—23.
7. **Миронов О. В.** Пропитка гипсовых форм сульфитно-спиртовым экстрактом. Листок изобретателя и рационализатора № 289. Издание ГИКИ, 1968, с. 1.
8. **Труш Е. Я., Новикова З. А.** Изготовление капов и моделей из серотальковой массы. Листок изобретателя и рационализатора № 182. Издание ГИКИ, 1961, с. 1.

ПРОИЗВОДСТВО КАПСЕЛЕЙ И ТЕРМОСТОЙКОГО ОГНЕУПОРНОГО ПРИПАСА ДЛЯ ТУННЕЛЬНЫХ ВАГОНЕТОК И КОНВЕЙЕРНЫХ ПЕЧЕЙ

1. НАЗНАЧЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

В качестве вспомогательных средств, обеспечивающих максимальное заполнение печного пространства и устойчивость садки тонкокерамических изделий при обжиге, применяют:

1) капсели для защиты обжигаемой продукции от непосредственного воздействия газов и загрязнения летучей золой топлива, а также для предохранения от резких температурных колебаний при нагревании и охлаждении;

2) огнеупорные детали (плиты, опорные стойки) каркасных этажерок, сооружаемых на вагонетках туннельных печей;

3) огнеупорные плиты-поддоны, употребляемые в конвейерных печах, например в щелевых, для перемещения обжигаемых изделий внутри печного канала.

Размеры, объемы и масса капселей, наиболее часто используемых на заводах отечественной фарфоро-фаянсовой промышленности, приведены в табл. XVI.1.

Таблица XVI.1

Размеры, объемы и масса капселей, наиболее часто используемых на заводах отечественной фарфоро-фаянсовой промышленности

Вид капселя	Размеры капселя, мм			Толщина стенок и дна, мм	Объем, $м^3$	Масса, кг
	Диаметр (ширина)	Длина	Высота			
Цилиндрический:						
крупных размеров	350—440	—	90—200	18—22	8,7—30	5,4—16
средних »	250—330	—	90—150	12—16	4,4—13	2,8—7
Капсель для второго обжига:						
фарфоровых тарелок	200—305	—	35—50	10—15	1,2—3,6	0,8—2,5
» блюдец	150—200	—	30—40	8—10	0,7—1,25	0,45—0,9
Прямоугольный для второго обжига хозяйственного фаянса	210—310	400—450	90—310	20—22	8,5—43	6,8—22

К капселям и этажерочным плитам предъявляют следующие основные требования:

а) большая прочность в необожженном и обожженном состояниях, обеспечивающая стойкость к механическим воздействиям при загрузке, выгрузке и транспортировании;

б) сопротивление деформации под нагрузкой при высокой температуре;

в) высокая термостойкость при неоднократных резких температурных колебаниях;

г) достаточная однородность и плотность огнеупорного припаса, исключающие отделение зерен шамота и приплавление их к глазури.

Интенсификацию обжига тонкой керамики нередко сдерживает недостаточная термостойкость капселей и плит.

Чем однороднее структура огнеупорного материала, равномернее коэффициент расширения, выше теплопроводность и упругость, тем он более термостоек. Особо вредное влияние оказывают резкие изменения коэффициента расширения, обусловленные полиморфными превращениями некоторых окислов и соединений, например SiO_2, содержащегося в свободном виде.

Помимо перечисленных факторов, на термостойкость влияют гранулометрический состав шихты, величина и форма зерен, количество и состав жидкой фазы, образовавшейся в процессе обжига, а также пористость изделия.

2. СОСТАВ И СВОЙСТВА КАПСЕЛЕЙ И ПРИПАСА ДЛЯ ВАГОНЕТОК

Традиционным сырьем для изготовления капселей и припаса являются огнеупорные глины, входящие в состав массы частично в сыром виде, а частично в виде измельченного и фракционированного шамота, бóльшую часть которого обычно получают из капсельного боя.

Глинистые материалы, применяемые для указанной цели, должны обладать однородностью, высокой огнеупорностью (не ниже 1670° С), широким температурным интервалом между спеканием и плавлением (300—500° С), большим сопротивлением деформации под нагрузкой при высокой температуре, достаточной пластичностью и связующей способностью. Эти материалы не должны также содержать посторонних примесей, главным образом вкраплений кварца, колчедана и других железистых включений, присутствие которых делает глины малопригодными для производства огнеупорного припаса.

Каолин повышает огнеупорность и термостойкость массы, однако вследствие малой пластичности и связующей способности отрицательно влияет на ее механическую прочность в воздушно-сухом состоянии.

Шамот вводят в состав огнеупорных масс как отощитель, благоприятно влияющий на их поведение при сушке. Использование капсельного боя в качестве шамота позволяет, кроме того, значительно сократить расход сырьевых материалов и снизить затраты на изготовление капселей и вспомогательных огнеупорных изделий.

Многократное нагревание приводит к изменению структуры шамота и развитию в нем стекловидной фазы, снижающей термостойкость массы [1]. Поэтому следует предварительно сортировать используемый капсельный бой, удаляя из него пережженные и оплавленные

куски и периодически обновлять шамот, заменяя капсельный бой шамотом из специально обожженной огнеупорной глины.

По величине зерен шамот обычно разделяют на три фракции — крупную (5—2 мм), среднюю (2—1 мм) и мелкую (1—0,2 мм). Для изготовления капселей диаметром более 320 мм используют шамот крупной и средней (или всех трех) фракций, взятых в соотношении (40—60) : (60—40) : (0—20), для капселей меньшего размера — смесь средней и мелкой фракций в соотношении (60—70) : (40—30).

Глино-шамотные массы, применяемые на отечественных фарфоро-фаянсовых заводах для огнеупорного припаса, изготовляемого методом пластического формования, обычно содержат, %: глины латненской — 15—30, глины типа часов-ярской (дружковской, веселовской) — 15—20, каолина — 10—20, шамота капсельного — 45—55.

Кратность оборота шамотных капселей и каркасных огнеупорных деталей сравнительно невелика и изменяется в зависимости от их размеров, а также от области применения и типа обжигательных печей (табл. XVI.2).

Таблица XVI.2

Изменение кратности оборота шамотных капселей

Вид изделия	Тип обжигательной печи	Кратность оборота капселей при температуре обжига, °С		
		1140—1160	1230—1280	1350—1410
Круглый и прямоугольный капсель размером более 320 мм	Камерная	10—6	8—5	4—2,5
	Туннельная	15—12	12—10	5—3
Капсель для обжига тарелок	Камерная	—	—	5—3
	Туннельная	—	—	6—4
Капсель для обжига блюдец и пиал	Камерная	—	—	10—6
	Туннельная	—	—	12—8
Каркасная этажерка	Туннельная	30—40	20—30	15—25

С увеличением содержания отощителя в многошамотных массах растет необходимое давление пресса и повышаются физико-механические свойства огнеупорного припаса (рис. XVI.1). Благодаря этому кратность оборота его возрастает по сравнению с кратностью оборота огнеупоров, изготовленных из обычных глино-шамотных масс, однако все еще не удовлетворяет современным требованиям.

Для повышения качества и сроков эксплуатации вспомогательных средств обжига в состав огнеупорных масс вводят различные добавки, например окись алюминия, тальк, карбид кремния и др.

Окись алюминия обычно добавляют в массу в виде технического глинозема (ГОСТ 6912—64), состоящего из смеси различных модификаций, который следует предварительно обжигать примерно при температуре 1350° С для перевода γ-глинозема (плотность 3,6—3,47) в более устойчивую при высоких температурах α-модификацию (плотность 3,99), аналогичную природному корунду.

С увеличением содержания глинозема в массе возрастают механическая прочность огнеупорного материала на излом и сжатие, а также его термостойкость и температура деформации под нагрузкой. Физико-механические свойства можно существенно улучшить при вводе в массу 15—20% обожженного глинозема за счет мелких фракций шамота [1,5].

Как показывают результаты работы фарфоровых заводов, применивших глиноземистые капсели для политого обжига тарелок и блюдец, оборачиваемость таких капселей в 1,5—2 раза выше оборачиваемости глино-шамотных. Значительно улучшилась также сортность продукции за счет резкого сокращения зерен шамота, приплавляемых к глазури при разрушении капселей [6].

Качество капселей и каркасных огнеупорных деталей, предназначенных для эксплуатации при температуре не выше 1300° С, например для обжига изделий из фаянса, полуфарфора и т. п., можно повысить добавлением в массу до 20% талька, измельченного до тонины не менее 0,1 мм.

Рис. XVI.1. Кривые изменения свойств шамотных огнеупоров:

1 — средняя плотность сырца; *2* — прочность на сжатие в воздушно-сухом состоянии; *3* — то же, после обжига при ПК 141; *4* — водопоглощение; *5* — пористость

Таль继-глинистые массы, применяемые для пластического формования, обычно имеют следующий состав, %: глинистые материалы — 45—50, шамот — 35—45, тальк — 5—15.

При добавлении в массу талька возрастают плотность, механическая прочность и термостойкость огнеупорного припаса. Это обусловливается происходящей в процессе обжига перекристаллизацией материала с образованием кордиерита $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$, вызывающего значительное уменьшение коэффициента термического расширения огнеупорного материала (до $1,5—3,0 \cdot 10^{-6}$). Благодаря этому кратность оборота капселей возрастает на 25—30 %, достигая, например, при первом обжиге фаянса (температура 1230—1280° С) 15 раз, при втором (температура 1140—1160° С) — 12—18 раз.

Однако применение тальково-глинистых капселей для высокотемпературного обжига (выше 1320° С) нецелесообразно, так как образующаяся стеклофаза способствует в данных условиях деформации капселя.

Наиболее высокими физико-механическими свойствами и долговечностью обладают капсели и огнеупорный припас, изготовленные из масс, содержащих карбид кремния (карборунд) [4, 7].

Отечественная промышленность выпускает карборунд двух видов — зеленый и черный, который представляет собой смесь двух кристаллических модификаций — кубической β-SiC и гексагональной α-SiC. Общее содержание карбида кремния в них составляет 96,6—98,8%. Плотность карборунда колеблется от 3,12 до 3,21 г/см³, твердость по шкале Мооса — от 9,2 до 9,5. Отличительная особенность карборунда — высокая теплопроводность — 50—70 Вт (м·°С) [0,11—0,17 кал /(см·с·°С)], небольшой, почти постоянный при высоких температурах коэффициент термического расширения (4,3—4,9)·10^{-6}.

Таблица XVI.3

Состав карборундовых масс, %

Сырье	Для прессования и пневматического трамбования	Для литья
Карбид кремния	60—97	70—80
Огнеупорная пластичная глина	40—30	30—20
Органические связующие добавки (сверх 100%)	2—7	—

Для производства капселей и огнеупорного припаса используют преимущественно карборунд, отвечающий по номерам зернистости (ГОСТ 3647—71) трем фракциям, мм: 2—1 (№ 160—100), 0,8—0,5 (№ 63—50) и 0,16—0,08 (№ 12—8), которые обычно берут в соотношении 1 : (1—1,2) : (1,8—2). При таком составе мелкие фракции карбида кремния заполняют пространство между крупными зернами, что способствует повышению плотности огнеупоров.

Состав карборундовых масс колеблется в зависимости от применяемых способов формования (табл. XVI.3).

Для карборундовых масс характерны небольшая усадка, повышенные механическая прочность, сопротивление деформации при высокой температуре и термическая стойкость, обусловленная отсутствием полиморфных превращений, малым коэффициентом расширения и высокой теплопроводностью.

С увеличением содержания карборунда улучшаются физико-механические свойства капселей и огнеупорного припаса и повышается длительность их эксплуатации (при высокой степени отощения массы карбидом кремния 100—200 оборотов и более). Однако, как показывает опыт работы предприятий, использование пластичных масс с небольшим и средним (40—50%) содержанием SiC экономически нецелесообразно, так как кратность оборота капселей при

Таблица XVI.4

Показатели физико-механических свойств огнеупорных масс и изделий, применяемых при обжиге фарфора и фаянса

Показатель	Для пластического формования: Глино-шамотные	Для пластического формования: Глино-шамотные с добавлением глинозема	Для пластического формования: Глино-шамотные с добавлением талька	Для пластического формования: Глино-шамотные с добавлением талька и глинозема	Для сухого прессования: Многошамотные	Для сухого прессования: Многошамотные с добавлением глинозема	Для сухого прессования: Многошамотные с добавлением талька	Для сухого прессования: Карборундовые	Для сухого прессования: Карборунд-содержащие с добавлением глинозема
Содержание отощителя, %	55—45	55—45	55—45	55—45	80—70	80—70	80—70	97—70	80—70
Влажность при формовании, %	18—23	18—23	18—23	18—23	6—9	6—9	6—9	3,5—7,5	6—7
Общая усадка, %	6,0—9,0	6,0—8,5	6,0—8,0	6,0—7,0	0,5—2,0	0,5—2,0	0,5—2,0	0,2—1,5	0,5—2,0
Средняя масса, г/см³	1,75—1,9	1,9—2,0	1,8—2,0	1,95—2,1	1,9—2,05	1,95—2,1	2,0—2,1	2,6—2,35	2,2—2,35
Водопоглощение, %	14—17	16—18	12—17	14—16	8—12	8—12	8—12	5—9	6—10
Открытая пористость, %	24—30	28—34	24—30	28- 32	16—25	16—25	16—25	13—22	14—22
Предел прочности при сжатии, Н/см² (кгс/см²)	1500—2200 (150—220)	2000—3600 (200—360)	2500—3500 (250—350)	3000—4000 (300—400)	2800—4500 (280—450)	4500—6000 (450—600)	4000—6000 (400—600)	4000—10 000 (400—1000)	5000—8000 (500—800)
То же, при изгибе, Н/см² (кгс/см²)	800—1200 (80—120)	1000—1500 (100—150)	1000—1200 (100—120)	1000—1200 (100—120)	1000—2000 (100—200)	1500—2000 (150—200)	1000—1800 (100—180)	1600—2500 (160—250)	1500—2800 (150—280)
Температура деформации при нагрузке 20 Н/см², °С:									
в начале размягчения	1320—1360	1370—1400	1250—1300	1350—1370	1350—1420	1400—1450	1250—1340	1450—1500	1400—1500
при 4%-ном сжатии	1430—1470	1450—1500	1330—1370	1370—1400	1450—1520	1500—1550	1330—1400	1500—1600	1480—1600
» 40%-ном сжатии	1600—1650	1650—1680	1450—1500	1400—1450	1600—1690	1620—1700	1450—1500	1550—1700	1580—1700
Коэффициент термического расширения α·10^{-6}	5,0—7,0	4,5—6,0	2,5—4,0	2,0—2,2	5,0—6,0	4,0—5,0	1,5—3,0	4,3—5,0	4,5—5,2
Теплопроводность, Вт (м·°С)	1,0—1,7	1,1—2,3	—	—	1,1—2,3	1,1—2,3	—	6,4—11,0	2,5—3,5
$\left(\frac{ккал}{м \cdot ч \cdot град}\right)$	(0,85—1,5)	(1,0—2,0)	—	—	(1,0—2,0)	(1,0—2,0)	—	(5,5—9,5)	(2,2—3,0)

этом возрастает лишь примерно в 3 раза по сравнению с кратностью оборота капселей из обычного шамота, что не компенсирует высокой стоимости карборунда [8].

Показатели физико-механических свойств некоторых карборундовых масс, применяемых для изготовления капселей и каркасных деталей, приведены в табл. XVI.4.

3. ПРИГОТОВЛЕНИЕ КАПСЕЛЕЙ И КАРБОРУНДОВЫХ ПЛИТ

Основная задача приготовления огнеупорных масс — получение нужной для формования изделий однородной смеси дозированных количеств исходного сырья. Применяют три способа приготовления огнеупорных масс — мокрый (так называемый ямный), шликерный и сухой. Все эти способы включают предварительную подготовку компонентов, заключающуюся в сушке и измельчении глинистого сырья, дроблении, помоле и фракционировании шамота и капсельного боя.

При ямном способе глинистые материалы, грубо измельченные на глинорезке или глинодробилке, замачивают в течение 12—24 ч в воде в открытых бетонированных ямах. Материалы загружают послойно с молотым шамотом и другими отощителями. Для ускорения процесса замачивания применяют предварительную сушку глины, подогревание воды или пропаривание массы острым паром. Затем массу вручную выгружают из ям, беря ее лопатами на всю толщину послойной загрузки, чтобы не допустить нарушения шихтового состава, и подают в шнековые мялки горизонтального или вертикального типа, через которые пропускают 2—3 раза для получения однородной ее структуры. После пролежки в течение нескольких дней и повторного пропускания через мялку массу направляют на формование.

Тяжелые условия труда, являющиеся одним из недостатков ямного способа, частично облегчаются при использовании для подачи выгружаемой массы в мялки горизонтальных и наклонных шнековых или ленточных транспортеров. Для этого сами мялки устанавливают одну над другой так, чтобы перерабатываемая масса проходила через них последовательно, без ручной перегрузки.

Недостатками ямного способа являются также неоднородное содержание в массе глины и шамота, большая длительность и периодичность процесса приготовления массы и потребность в значительных производственных площадях.

Рациональным изменением мокрого способа, позволяющим значительно интенсифицировать и механизировать технологический процесс, облегчить условия труда и улучшить качество массы, является шликерный способ приготовления массы. Этот способ обеспечивает лучшее качество смешивания и бóльшую однородность массы [1, 10], однако применение его для приготовления грубокерамических масс, содержащих в своем составе более 45% глинистых материалов, связано с трудностью обеспечения влажности их ниже 24%, что

необходимо для пластического формования капселей и огнеупорного припаса. В связи с этим данный способ применяют для приготовления масс, используемых при отливке изделий.

Сухой способ, получивший широкое распространение благодаря возможности механизации производственного процесса, улучшению условий труда и получению доброкачественной продукции, заключается в смешивании дозированных количеств тонкомолотых сухих глинистых материалов, фракционированного шамота и других отощающих добавок с последующим увлажнением шихты до требуемого влагосодержания.

Для сушки дробленых в глинорезке или зубчатых валках глинистых материалов используют сушильные барабаны, работающие в открытом прямоточном цикле с дезинтеграторами тонкого помола или молотковыми мельницами и с виброситами, предназначенными для отделения мелкой фракции ($< 0{,}5$ мм), необходимой для добавления в шихту [11, 14].

Более совершенным оборудованием являются помольно-сушильные агрегаты, объединяющие в одном рабочем цикле операции измельчения, подсушки и сепарации материала. Основной составной частью их являются машины для тонкого измельчения, например роторные или молотковые мельницы с циркуляцией нагретого воздуха или дымовых газов, для сушки глинистых материалов и воздушной сепарации измельченных частиц.

Для дробления и фракционирования шамота используют щековые дробилки, рифленые и комбинированные вальцы, работающие в замкнутом цикле с ситами-буратами или виброситами.

Высушенные и размолотые глинистые материалы, так же как и фракционированный шамот и получаемые со стороны глинозем, тальк, карбид кремния, распределяют с помощью механизированных транспортных средств по расходным бункерам.

Дозирование отдельных компонентов массы в требуемой объемной или массовой (весовой) пропорции осуществляют с помощью тарельчатых, ячейковых или шнековых питателей и весовых аппаратов, установленных под бункерами для хранения соответствующих материалов, после чего их подают в смесители, в которых последовательно смешивают сначала в сухом виде, а затем в увлажненном. Компоненты масс для сухого прессования увлажняют раствором сульфитно-спиртовой барды, для пластического формования — водой.

Для смешивания обычно применяют непрерывно действующие одновальные или двухвальные шнековые смесители, а также бегунковые смесители периодического действия, в которых можно получить наилучшее качество перемешивания при одновременном уплотнении массы [2, 11].

Производительность бегунковых смесителей определяется их вместимостью и продолжительностью рабочего цикла, общая длительность которого составляет 6—8 мин, в том числе около 2—3 мин требуется для перемешивания сухих материалов и 4—5 мин — для смешивания их с водой или глинистой суспензией.

Окончательная гомогенизация и уплотнение масс, используемых для пластического формования, достигаются при обработке их в ленточных прессах, а в некоторых случаях и в вакуумных мялках. После пролежки в массохранилищах и повторной обработки в шнековых мялках массу направляют на формование.

Для изготовления капселей и каркасных огнеупорных деталей применяют различные способы формования (пластическое формование, прессование и отливка), выбор которых обусловлен составом массы, формой и размерами вырабатываемых изделий.

Наибольшее распространение при изготовлении капселей получило пластическое формование, при котором используют массы, имеющие 22—24% влажности и содержащие в своем составе не менее 40% глинистой связки. Изделия, имеющие конфигурацию тела вращения, формуют с помощью шаблона в гипсовых формах, установленных в формодержателях шпиндельных станков, вращающихся со скоростью 3—5 $с^{-1}$ (200—300 об/мин).

Вместо гипсовых форм применяют также съемные обечайки в виде цельных или разъемных металлических колец, в которых массу формуют на гипсовых или металлических поддонах [11].

Существенно повышается производительность труда при использовании карусельных формовочных станков конструкции Б. Н. Шамарина (рис. XVI.2) и роликовых полуавтоматов АСФ-05, которые применяют на некоторых заводах при формовании капселей для обжига тарелок и блюдец.

Станок конструкции Б. Н. Шамарина состоит из карусельного стола *1*, на котором смонтировано три шпинделя с формодержателями. В станине *2* стола помещается электродвигатель *3*, вращающий вертикальный вал *4* с фрикционным конусом *5*.

Станок обслуживают формовщик и подручный. По окончании формования одного капселя формовщик нажимает ногой на педаль *6*, после чего, не снимая ноги с педали, поворачивает стол *1* на 120° до совпадения следующего формовочного шпинделя с вертикальным валом *4*. При освобождении педали конус *5* включается и шпиндель начинает вращаться. Одновременно в следующее гнездо стола входит фиксатор *7*.

В патроне вращающегося шпинделя находится заранее поставленная подручным форма с массой. Формовщик опускает наклон с шаблоном *8*, выполняя формование. В это время подручный снимает форму с ранее заформованным капселем, ставит ее на стеллаж или полку вагонетки, выгружает сухой капсель из другой формы, снятой со стеллажа, устанавливает ее в освободившийся формодержатель станка, забрасывает в форму ком массы и вручную разминает ее.

На станке конструкции Б. Н. Шамарина можно формовать капсели и в металлических обечайках. Для этого в головках шпинделей предусмотрены сквозные отверстия, а на станине установлен выталкиватель.

На полуавтомате АСФ-05 формование осуществляется посредством вращающегося профилированного ролика, поверхность которого во избежание прилипания массы автоматически покрывается гидро-

фобной смазкой, например подогретым до температуры 30°С дизельным топливом, смешанным с 0,3—0,5% расплавленного стеарина или парафина. Для формования применяют массу несколько пониженной влажности (20—22%). При изготовлении капселей для об-

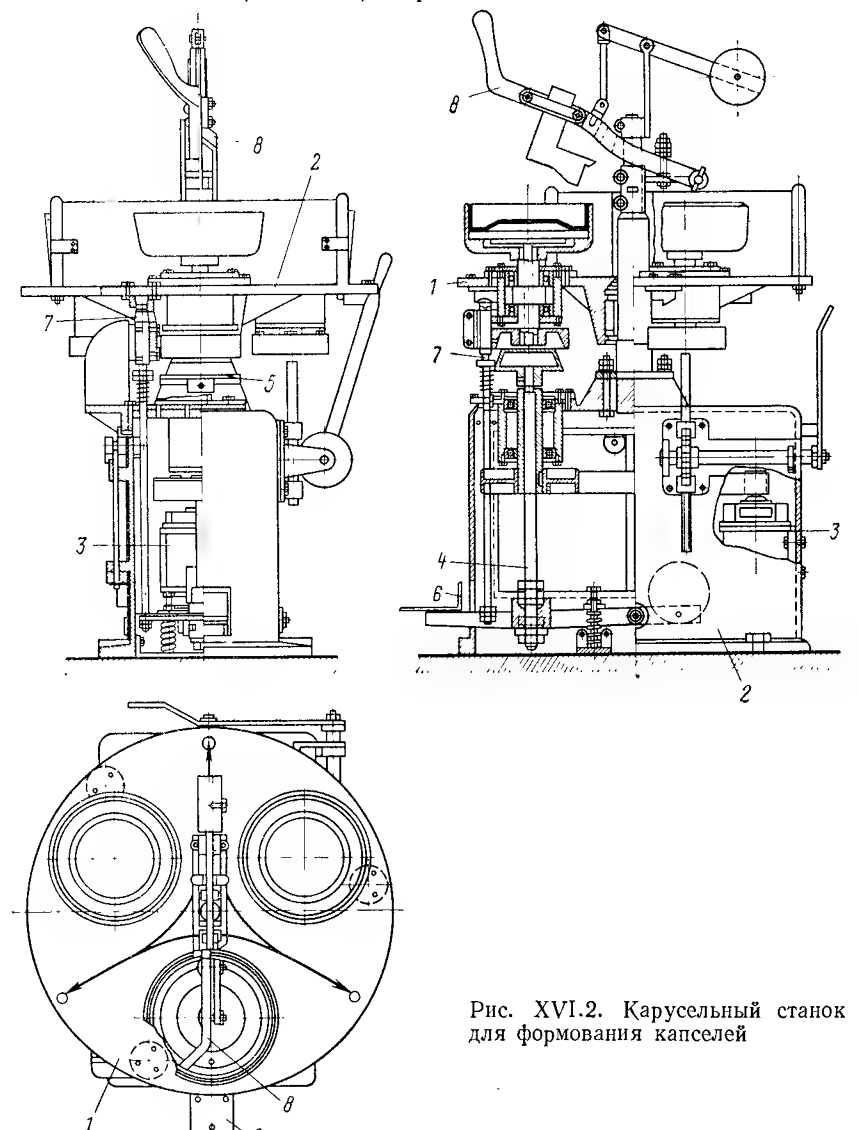


Рис. XVI.2. Карусельный станок для формования капселей

жига тарелок диаметром 240 мм производительность полуавтомата составляет около 800 шт. изделий в смену.

Более прогрессивен и производителен метод прессования массы влажностью 14—18% на фрикционных прессах. Позволяя получить изделия большой плотности с правильными, четкими очертаниями,

он оказался наиболее эффективным для изготовления капселей прямоугольной, овальной и фасонной форм, не поддающихся формованию на формовочном станке.

Изделия прессуют в металлических матрицах, подаваемых на передвижных салазках под пуансон, при опускании которого (в два приема) сначала происходит предварительное, а затем окончательное прессование. Чтобы масса не прилипала к пуансону, матрице и закладываемому в нее поддону, их поверхность, соприкасающуюся с формуемым изделием, смазывают минеральным маслом, олеонафтом, смесью мазута с керосином и т. п.

Производительность фрикционных прессов зависит от размеров прессуемых изделий, длительности загрузки и разгрузки матриц: при прессовании крупных капселей — 50—100 шт. в час, капселей средних размеров — 120—200, мелких — 250.

Применение сухого и полусухого прессования для изготовления этажерочных плит, отличающихся от капселей бо́льшими размерами (500 × 400 мм и более), затруднено необходимостью использования дорогостоящих и крайне громоздких гидравлических прессов большой мощности (1000 т и более), эксплуатация которых в условиях небольшого объема производства практически нецелесообразна.

Например, исходя из величины удельного давления прессования 6000 Н/см² (600 кгс/см²), для изготовления плит размером 500 × × 400 мм из карборундовой массы с содержанием 80—93% карбида кремния потребовался бы пресс мощностью 1200 т.

Как показали исследования, проведенные в УкрНИИ стекольной и фарфоро-фаянсовой промышленности [12], в этом случае более целесообразно и эффективно вибропрессование. Согласно технологии, разработанной данным институтом, плиты изготовляют из карборундовой массы, содержащей 95% SiC разной зернистости и 5% дружковской глины с добавлением 10% технического глинозема, предварительно обожженного до температуры 1350° С, и 1—5% этилсиликата-40, вводимого в виде 25%-ной эмульсии в качестве кремнийорганической связки.

Изделия формуют в металлической пресс-форме, установленной на виброплощадке, приводимой в колебательное движение с амплитудой 0,1 мм при частоте 50 Гц. С помощью пригруза на формуемые изделия передают равномерно распределенное давление, равное 0,8 Н/см² (0,08 кгс/см²). Оптимальная длительность виброуплотнения 60—80 с, причем, как показали результаты исследования, уменьшение и увеличение длительности вибрирования приводят к снижению термостойкости изделия.

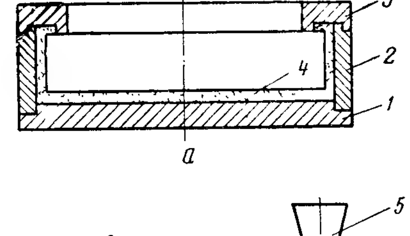
Для придания прочности свежеформованные на связке из этилсиликата изделия подвергают термической обработке, режим которой определяется необходимой для полимеризации связки температурой (250—300°С) и продолжительностью выдержки (оптимальная — 50 ± 10 мин).

Изготовленные таким образом карборундовые плиты обжигают при температуре 1460°С. Термостойкость их достигает 200 теплосмен.

Способ изготовления капселей и огнеупорных деталей отливкой в гипсовых формах прост и не требует громоздкого прессового оборудования и сложных металлических пресс-форм, сравнительно быстро изнашивающихся от воздействия компонентов прессуемой массы, особенно карбида кремния и корунда. Для этого способа характерны невысокая производительность и потребность в больших производственных площадях, что связано с длительностью технологического цикла, возрастающей с повышением толщины черепка формуемых изделий и увеличением содержания глинистых материалов в массе. Поэтому применение данного способа целесообразно главным образом при изготовлении фасонных и тонкостенных капселей из масс высокой степени отощения (70% и более).

Для литья изделий используют шликеры минимальной влажности (20—22%). Шликеры должны быть устойчивыми к расслоению и оседанию.

Карбидкремниевые шликеры, содержащие 70—80% карборунда и отвечающие этим требованиям, могут быть получены, например, при разжижении глинистой связки из латненской и веселовской глин (1 : 1) водой с добавлением 2,0—2,8% жидкого стекла (влажностью 58,5%) и 0,3% пирофосфата натрия [13]. Их приготовляют в пропеллерной мешалке, в которую заливают необходимое по расчету количество воды с добавлением жидкого стекла. Сначала в мешалке распускают предварительно измельченные глинистые материалы. После 16—24-часового выстаивания в полученную глинистую суспензию влажностью 47% вводят пирофосфат натрия и продолжают перемешивание в течение 1 ч. Затем, не останавливая вращения винта, в мешалку добавляют дозированное количество мелкого и крупного карборунда и после получасового перемешивания шликер выдерживают перед употреблением в течение суток.



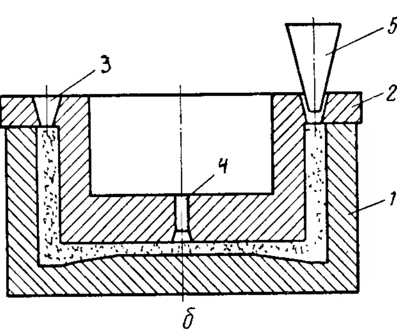


Рис. XVI.3. Схема отливки капселей:

а — при сливном способе; *б* — при наливном способе

В зависимости от конфигурации и толщины стенок изготовляемых изделий применяют сливной или наливной способ отливки.

Первый способ наиболее рационален при изготовлении тонкостенных капселей с равномерной толщиной стенок и дна. При этом используют разборные гипсовые формы, состоящие из поддона *1*, обечайки *2* и кольца *3*, создающего по верхнему краю капселя *4* ребро жесткости, повышающее прочность изделия и предохраняющее его от деформации при сушке и обжиге (рис. XVI.3, *а*).

Длительность набирания капселя толщиной 10—14 мм в заполненной шликером гипсовой форме составляет 1,5—2 ч. Избыток шликера удаляют из формы, заглаживают стенки и дно капселя губкой, после подвяливания снимают верхнее кольцо *3* формы и обечайку *2* и сначала сушат капсель на гипсовом поддоне при температуре около 60° С до влагосодержания 6—8%, а затем досушивают его вверх дном (без поддона) при температуре 100—120° С.

Для отливки толстостенных капселей, а также с неравномерной толщиной стенок и дна используют наливной способ, позволяющий значительно сократить длительность набирания черепка.

Применяемые для этой цели гипсовые формы (рис. XVI.3, *б*) состоят из нижней части *1* и входящего в нее съемного вкладыша *2* с отверстиями *3* для заливки шликера и для выхода вытесняемого воздуха *4*. Шликер заливают в форму под некоторым давлением через вставленную воронку *5*. По окончании набирания и подвяливания черепка, длительность которых зависит от состава и влагосодержания шликера, вкладыш *2* вынимают с помощью сжатого воздуха, подведенного по резиновому шлангу к отверстию *4*. Чтобы шликер не попадал в это отверстие, его с внутренней стороны прикрывают специальным клапаном [2] во избежание затекания шликера.

На заводе «Пролетарий» аналогичным способом изготовляют карборундовые капсели для политого обжига тарелок.

Используемую в качестве связки веселовскую глину (20%) распускают в воде с добавлением 0,5% жидкого стекла и в полученную глинистую суспензию, перелитую в специальную пресс-мешалку, засыпают заданное количество карбида кремния (80%). После интенсивного перемешивания смеси в течение 6—10 мин включают шнек мешалки, с помощью которого достаточно подвижную массу выталкивают из мешалки через разгрузочный патрубок, расположенный снизу, и примерно за 1 мин заполняют под некоторым давлением установленную под ним гипсовую форму, собранную из двух частей.

5. СУШКА И ОБЖИГ КАПСЕЛЕЙ И ОГНЕУПОРНОГО ПРИПАСА

Режим сушки существенно влияет на качество и срок эксплуатации готового огнеупорного припаса.

Неравномерная сушка приводит к деформации, короблению, появлению трещин и другим дефектам, обусловленным возникающими в изделии внутренними напряжениями, вызванными неравномерной усадкой различных его участков. Особо строгого режима сушки требуют толстостенные капсели, а также плиты и стойки, полученные из масс с высоким содержанием глинистой связки и обладающие поэтому значительной воздушной усадкой.

Сушка капселей, изготовленных пластическим формованием или отливкой в гипсовых формах, обычно протекает в две стадии.

В первой стадии изделия подсушивают в гипсовых формах до содержания влаги в количестве 12—14%. Во избежание дегидратации гипса температура сушки не должна превышать 65° С.

После извлечения изделий из форм и установки их вверх дном капсели досушивают до содержания влаги в количестве 3—5% при температуре по возможности не ниже 80° С.

Капсели и огнеупорные детали из высокоотощенных масс, изготовленные способом сухого и полусухого прессования, сушат на ровных поддонах до содержания влаги в количестве 1—2%.

Капсели обычно сушат в непрерывно действующих туннельных сушилках, в которых требуемый режим сушки обеспечивают путем регулирования температуры и влажности среды. При обогревании используют горячий воздух, подаваемый из систем искусственного охлаждения печей для обжига, или нагреваемый в калориферах.

Для предприятий с небольшим объемом выпускаемых изделий пригодны камерные инжекционные сушилки с внутренней и внешней рециркуляцией.

В условиях массового производства капселей более целесообразно применение зональных туннельных сушилок, отличающихся высокой пропускной способностью и обеспечивающих повышение температуры и снижение относительной влажности по длине канала.

Сырые капсели загружают в сушилку на полочных монорельсовых вагонетках, которые с помощью толкателей продвигаются вдоль канала по подвесным путям. Эксплуатационная маневренность многоканальной туннельной сушилки достигается за счет независимого продвижения вагонеток на каждой колее, что позволяет в одной сушилке выполнять теплообработку разных изделий [14, 15].

Производительность сушилки зависит от температурного режима, размеров, начальной и конечной влажности высушиваемых изделий (табл. XVI.5).

Таблица XVI.5

Параметры сушки изделий

Изделия	Особенность сушки	Влажность изделий, %		Температура сушки, °С	Длительность сушки, ч
		начальная	конечная		
Формованные капсели:					
массой до 3 кг . .	В формах	22—23	12—14	60—70	5—8
	Без форм	12—14	3—5	70—90	5—10
» более 3 кг	В формах	22—23	12—14	60—70	10—15
	Без форм	12—14	3—5	70—90	15—20
Капсели пластического прессования	На поддонах	16—18	3—5	70—90	15—24
Капсели полусухого прессования	То же	5—9	1—2	90—100	5—10

Удельный расход тепла, отнесенный на 1 кг испаренной влаги, составляет, кДж/кг (ккал/кг): для первой стадии сушки 6000—6800 (1500—1700), для второй — 1700—2200 (6800—8800).

Для сушки низких капселей сравнительно небольшого диаметра, например тарелочных и блюдечных, используют также конвейерные

полочные сушилки. Из них особый интерес представляет разработанная и внедренная на фарфоровом заводе «Пролетарий» конвейерная сушилка для двухстадийной сушки карборундовых капселей, изготовляемых отливкой в гипсовых формах. Первая стадия сушки в ней осуществляется направленным потоком теплоносителя температурой 60—65°С, а окончательная сушка после извлечения изделий из форм— путем облучения инфракрасными газовыми горелками типа ГИИВ-2.

Сушилку обслуживают два формовщика и один съемщик сухих капселей.

Как показывает опыт работы предприятий, кратность оборота капселей и каркасных огнеупорных деталей возрастает при высокой температуре предварительного обжига их, достаточной конечной выдержке и осторожном охлаждении в критические периоды.

Карборундовые капсели и плиты сначала обжигают при температуре 900—1000° С, а после нанесения защитных покрытий повторно обжигают при температуре не ниже 1380° С для масс 70% -ного отощения и не ниже 1410—1430° С для масс 80—90%-ного содержания карборунда.

Чтобы добиться высокого качества и длительного срока службы изготовляемых капселей, на их опорную поверхность после предварительного обжига, как правило, наносят ровный тонкий слой огнеупорной массы, а на нижнюю поверхность — защитные покрытия, предохраняющие обжигаемые тонкокерамические изделия от приплавления к глазури частиц шамота.

Шлифованием устраняют кривизну доньев капселей, возникающую в результате неравномерной усадки при сушке и обжиге. Эту операцию выполняют на вращающемся шпиндельном станке с помощью шаблона, которым с поверхности дна удаляют шероховатость. Затем заполняют и заглаживают неровности кашицеобразной огнеупорной массой, подаваемой под другой шаблон.

В состав такой массы обычно входят 60—70% шамотной пыли или технического глинозема, 10—40% веселовской или латненской глины и 0—20% каолина, которые в мешалке тщательно смешивают с необходимым для получения требуемой консистенции количеством воды.

Чтобы избежать возникновения вырывов и щербин на ножках обжигаемых изделий вследствие приплавления их к капселям и к этажерочным плитам, рабочую поверхность последних покрывают изолирующим слоем неспекающегося ангоба, состоящего из 70—90% глинозема и 10—30% глинистой связки.

Таким же ангобом изолируют соприкасающиеся поверхности (края) капселей, собранных в колонны, предотвращая слипание их при обжиге.

Защитные покрытия наносят также на обращенную к объектам обжига сторону капселей и каркасных этажерок, чтобы избежать засорения обжигаемых изделий частицами шамота, открашивающимися от огнеупорного припаса при термической обработке.

Применение глиноземистых термостойких покрытий способствует не только уменьшению выкрашивания отдельных зерен шамота, но

и повышению механической прочности и термостойкости капселей [16]. Кроме 63—70% глинозема, в состав такого ангоба вводят до 30% низкоспекающейся глины (веселовской и т. п.), 5—7% доломита, иногда до 5% углекислого бария (для обжига при температуре 1280—1320° С).

Глиноземистые ангобы, используемые для нанесения защитных покрытий, изготовляют путем совместного мокрого помола глинистых компонентов в шаровых мельницах до тонины, характеризующейся остатком 0,1—2% на сите № 0056 (10 000 отверстий на 1 см²). После процеживания через сито № 0355 (400 отверстий на 1 см²) ангоб с содержанием влаги не менее 50% наносят на соответствующие участки огнеупорного припаса, следя за тем, чтобы он ложился ровным слоем. Для придания массе лучшей текучести и кроющей способности рекомендуется добавлять 0,1—0,2% жидкого стекла от массы глинистых компонентов.

Капсели, треснувшие в процессе обжига на 2—3 части и не имеющие других существенных дефектов, склеивают. При этом изделия в местах трещин покрывают специальной мастикой, состоящей из 40—60% жидкого стекла и 60—40% тонкомолотых шамота, кварца, фарфорового боя или каолина. Затем части капселя плотно соединяют, связывают, ставят на ребро и выдерживают в течение суток до полного затвердения мастики.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Махль Р. Т.** Капсель и капсельные массы. Л., ОНТИ, 1936. 119 с.
2. **Чоколов Д. С.** Капсели для тонкой керамики. Киев, Укризлегпром, 1933. 78 с.
3. **Келер Э. К.** Термохимические свойства алюмосиликатных огнеупоров. М., Металлургиздат, 1949. 183 с.
4. **Чехматаева С. М., Кох Н. Э.** Огнеупорный припас для бескапсельного обжига фарфора. Труды ГИКИ, 1956, **34,** с. 60—66.
5. **Филинцев Г. П., Розенберг Р. И.** Опыт внедрения глинозема в капсельные массы. Труды ГИКИ, 1964, **32,** с. 3—17.
6. **Резников Л. Г.** Капсели с применением глинозема для фарфоровых изделий. Сборник под ред. И. Д. Финкельштейна. М., Промстройиздат, 1956, с. 57—60.
7. **Кайнарский И. С., Дегтярева Э. Д.** Карборундовые огнеупоры. М., Металлургиздат, 1963. 252 с.
8. **Syska Z.** «Szklo i ceramika», 1955, **10**, s. 240—245.
9. **Юрчак И. Я., Розенберг Р. Г.** Глиноземисто-карбидкремниевые капсели для обжига фарфора. — «Стекло и керамика», 1965, № 2, с. 13—14.
10. **Филинцев Г. П.** и др. К вопросу о выборе наиболее рационального способа изготовления капсельной массы. «Керамический сборник», 1940, **8**, с. 27—32.
11. **Булавин И. А.** Оборудование фарфоровых и фаянсовых заводов. М., Гизместпром, 1940. 311 с.
12. **Городецкий В. С.** и др. Технология изготовления карборундовых огнеупоров высокой термической стойкости. — «Стекло и керамика», 1970, № 10, с. 33—35.
13. **Розенберг Р. Г. и др.** Изготовление карбидкремниевых капселей методом литья. — «Стекло и керамика», 1971, № 1, с. 37—39.
14. **Городов Н. Н. и др.** Новая техника в производстве фарфора и фаянса. М., «Детский мир», 1958. 288 с.
15. **Булавин И. А.** Теплотехника в производстве фарфора и фаянса. М., «Легкая индустрия», 1972. 440 с.
16. **Юрчак И. Я., Розенберг Р. Г.** Применение высокоглиноземистой промазки для снижения засорки на изделиях. Труды ГИКИ. 1955, **32,** с. 13—20.
17. **Горяинов К. Э. и др.** Электросварка огнеупоров. — «Стекло и керамика», 1965, № 2, с. 33—35.

ГЛАВА XVII

КЕРАМИЧЕСКИЕ КРАСКИ

Керамические краски представляют собой минеральные пигменты, приплавляемые к поверхности керамических изделий легкоплавкими, большей частью свинцовыми стеклами. Это надглазурные краски и краски для стекла или подглазурные пигменты, наносимые перед глазурованием на сырые или предварительно обожженные пористые изделия. К данному виду красок относят также майоликовые краски и красители для цветных глазурей.

К керамическим краскам относят также и широко применяемые в декорировании керамических изделий и стекла препараты драгоценных металлов — золота, серебра и платины.

Во всех случаях керамические краски закрепляют на изделиях обжигом: краски для стекла при температуре 500—600° С, надглазурные краски для фаянса — 720—760° С, надглазурные для фарфора — 790—850° С, подглазурные краски для фаянса — 1100—1160° С, подглазурные для фарфора — 1250—1410° С, майоликовые краски — 850—1000° С.

Главная составная часть керамических красок — пигменты, содержащие окислы металлов в различном сочетании, а также более сложные синтезированные окрашенные минеральные тела типа корундов, шпинелей, гранатов, циркона, титанатов и др.

Наиболее часто применяют окислы железа, хрома, кобальта, никеля, меди, марганца, сурьмы, а также окислы редкоземельных элементов — празеодима, неодима, церия и др.

1. КЕРАМИЧЕСКИЕ ПИГМЕНТЫ

Окислы железа. Для декорирования фарфора и фаянса используют не естественно окрашенные окисью железа минералы, а более чистые и стабильные по составу синтезированные окислы железа, обычно получаемые путем прокаливания различных солей железа или гидроокисей. Самым распространенным способом получения красной окиси железа является прокаливание железного купороса при температуре 700° С.

Реакция разложения железного купороса $FeSO_4$ при нагревании протекает следующим образом: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ при температуре 100° С переходит в $FeSO_4 \cdot H_2O$, при температуре 300° С — в $FeSO_4$, при температуре 580—650° С $2FeSO_4$ переходит в α-$Fe_2O_3 + SO_3 + SO_2$.

Полученный продукт промывают от неразложившейся соли горячей водой. В зависимости от температуры прокаливания окиси железа получают различную ее окраску: при 580° С — желто-красную, при 600° С — красную с желтоватым оттенком, при 700° С — красную, при 800° С — красно-фиолетовую, при 900° С — фиолетовую при свыше 900° С — темно-фиолетовую, переходящую в черный цвет.

Для получения однородного тона необходимо строгое соблюдение температурного режима прокаливания и длительности выдержки при конечной температуре.

Однородную и лучшего качества окраску получают при прокаливании железного купороса в «кипящем» слое или во вращающихся трубчатых печах.

Окраску красной окиси железа можно изменять при прокаливании железного купороса с солями, гидроокисями или окислами цинка, магния, алюминия, титана, олова, кремния, циркония и церия. Эти соединения широко применяют при изготовлении надглазурных красок для фарфора, фаянса и стекла с предельной температурой обжига до 800° С. При более высокой температуре окись железа начинает растворяться во флюсах и глазурях, изменяя обычную окраску.

Окись хрома Cr_2O_3. Основой для получения зеленых пигментов керамических масс, надглазурных и подглазурных красок является окись хрома разного тона, кристаллизующаяся в гексагональных игольчатых пластинках типа корунда.

Существует несколько способов получения окиси хрома. Наиболее распространенным является прокаливание смеси хромпика с серой согласно реакции $K_2Cr_2O_7 + S = Cr_2O_3 + K_2SO_4$. Смесь прокаливают в шамотных капселях при температуре 1200° С в окислительной среде. Цвет получаемой окиси зависит от температуры и длительности прокаливания. Прокаливание при температуре более 1200° С приводит к укрупнению и потемнению кристаллов Cr_2O_3.

При высоких температурах прокаливания Cr_2O_3 обладает летучестью и переходит в нестехиометрические соединения с кислородом, что, естественно, вызывает изменение окраски конечного продукта.

В результате реакции хромпика с серой образуется сернокислый калий K_2SO_4, который спекает массу. При обработке горячей водой K_2SO_4 легко растворяется и спекшаяся масса превращается в порошкообразную. В техническом хромпике всегда имеется примесь небольшого количества соединений железа, переходящих при прокаливании в окислы и снижающих чистоту окраски продукта.

Для устранения соединений железа прокаленную окись хрома рекомендуется промывать горячим раствором соляной кислоты. Еще более чистую окись хрома можно получить при использовании перекристаллизованных хромовых солей.

Окись хрома, применяемая в качестве подглазурной краски по фарфору, изменяет свою окраску на серовато-зеленую. Причина такого изменения тона пока не выяснена.

Если в шихту при прокаливании хромпика вводят соединения бериллия, то зеленый цвет продукта сохраняется. Сочетание Cr_2O_3 с другими окислами вызывает изменение окраски: окись цинка — в грязно-лиловый, NiO_2 — в более чистый зеленый цвет, TiO_2 совершенно изменяет окраску окиси хрома (темно-коричневый или фиолетовый оттенок), Al_2O_3 и ZnO_2 с небольшим количеством Cr_2O_3 дают малиново-розовые пигменты, так называемые пинки. Из других соединений хрома, сохраняющих зеленую окраску при действии высоких температур, следует отметить фосфорнокислый хром, который (по Херамхову) получают растворением $Cr(OH)_3$ в H_3PO_4 с последующим выпариванием досуха и прокаливанием остатка при высокой температуре.

Окись кобальта. В окраске керамических изделий, как для подкрашивания масс, так и для получения различных тонов синих и голубых подглазурных и надглазурных керамических красок, окись кобальта находит самое широкое применение. Кобальтовые соединения в керамике начали применять в глубокой древности. Установлено, что синие стекла в Древнем Египте, Ассирии и Вавилоне окрашены соединениями кобальта.

Кобальт в природе встречается в виде мышьяковистых соединений — минерала шмальтина $CoAs_2$ и кобальтового блеска $CoAs_2CoS_2$. Обычно этим минералам сопутствуют примеси никеля, марганца, железа, меди, удаляемые при получении окиси кобальта химической обработкой.

Окись кобальта Нижне-Уфалейского завода, применяемая в настоящее время Дулевским красочным заводом, имеет следующий состав, %: Co — 71,19; Ni — 0,78; Fe — 0,08; Mn — 0,039; Cu — 0,009; S — 0,011.

Окись кобальта легко растворяется в стеклах, окрашивая их в синий цвет. Эта способность данной окиси используется для получения синих глазурей и прозрачных керамических красок.

При прокаливании Co с Al_2O_3 образуются синие непрозрачные пигменты, дающие соответственно непрозрачные синие керамические краски. Тон пигментов, получаемых с окисью кобальта, может значительно изменяться при добавлении в шихту ряда неокрашенных окислов. Так, совместное прокаливание окиси кобальта с окисью цинка дает зеленый пигмент — ринманову зелень, с MgO — брусничную окраску — красную Берцелиуса, с фосфатом кобальта — светло-фиолетовую.

Окись кобальта в сочетании с окислами железа, марганца и меди способствует получению черных пигментов.

Добавление CoO в разные соединения способствует возникновению сине-голубых окрасок шпинелей, корундов, гранатов, виллемитов и др.

Окись марганца. В сочетании с окислами железа и хрома окись марганца является основой для получения коричневых и черных пигментов. Исходным материалом является пиролюзит MnO_2 — природный минерал, обычно содержащий большое количество окислов железа, удаляемых в результате обработки соляной кислотой (при нагревании). Чистый пиролюзит окрашивает щелочные стекла в красные или сине-фиолетовые тона.

В природе встречаются минералы, окрашенные соединениями марганца в розовые и красные тона. К ним относятся: родонит $MnSiO_2$ розового цвета, тефроит $MnSiO_4$ красного цвета, аметист SiO_2, окрашенный следами марганца, и гюбнерит $MnWO_4$ красного цвета.

Окись никеля. В сочетании с другими окислами окись никеля образует бирюзовые и зеленые пигменты, которые из-за малой стабильности, особенно к действию восстановительной среды, находят ограниченное применение в керамике. В специальных составах глазурей окись никеля способствует получению лилово-фиолетовой, зеленой и коричневой окраски.

Окись меди. Легкоплавкие щелочные стекла окись меди окрашивает в красивые голубые и бирюзовые тона. Окись меди широко применяют при покрытии изделий майоликовыми глазурями.

Окислы редкоземельных элементов (Pr, Nd, Er, Sm). Эти окислы в сочетании с глазурями дают характерные чистые пастельные тона аметистовых, желтых, зеленых и розовых окрасок. В настоящее время их используют для изготовления различных керамических пигментов.

Окисные пигменты и их простые смеси являются недостаточно стойкими к действию высоких температур и особенно к растворению глазурями различного состава. Гораздо более стойкими являются керамические пигменты, по структуре своей близкие к естественным прочно окрашенным минералам, таким как шпинели, корунды, цирконы, гранаты, сфены, пирохлоры и др.

Шпинельные пигменты. Эти пигменты подразделяют на две группы: $x^{+2}y_2^{+3}O_4$ и $x_2^{+2}y^{+4}O_4$.

Шпинельные пигменты $x^{+2}y_2^{+3}O_4$ можно получать различными способами: прокаливанием тесной смеси окислов при температуре 1700° C, прокаливанием тесной смеси окислов в присутствии H_3BO_3 в количестве 2% при температуре 1300—1350° C, сплавлением при помешивании соответствующих солей металлов с последующим прокаливанием смеси при температуре 1000—1200° C, осаждением гидроокисей металлов из соответствующих солей и прокаливанием смеси при температуре 1000—1200° C.

Наиболее удобным способом, обеспечивающим полноту реакции образования шпинели, является прокаливание тесной смеси окислов с H_3BO_3 (2%).

Характеристика шпинельных пигментов типа $x_2^{+2}y^{+4}O_4$ приведена в табл. XVII.1.

Таблица XVII.1

Характеристика шпинельных пигментов типа $x_2^{+2}y^{+4}O_4$

Молекулярный состав пигмента	Температура прокаливания, °C	Цвет	Молекулярный состав пигмента	Температура прокаливания, °C	Цвет
$2CuOTiO_2$	850	Темно-зеленый	$2MnOSnO_2$	1350	Черный
$2MnOTiO_2$	850	Темно-вишневый	$2FeOSnO_2$	1100	Вишнево-коричневый
$2NiOTiO_2$	850	Желтый	$2CdOSnO_2$	1100	Желтый
$2CoOTiO_2$	1000	Сине-голубой	$2NiOSnO_2$	1350	Светло-зеленый
$2CdOTiO_2$	850	Желтый	$2CoOSnO_2$	1350	Черный

Примечание. В качестве минерализатора применяли B_2O_3.

Глиноземные, хромовые, титановые и оловянные шпинели могут давать различные изоморфные смеси с соответствующим многообразием окрасок.

Дулевским красочным заводом разработана палитра изоморфных смесей титановых и оловянных шпинельных пигментов (табл. XVII.2).

Многокомпонентные титановые пигменты в присутствии щелочных и щелочноземельных окислов дают богатую палитру пигментов (светло-голубые, бирюзовые и зеленые тона).

Пигменты корундового ряда. В природных условиях окрашенный корунд в чистых разностях встречается в виде таких драгоценных камней, как рубин, сапфир и их аналоги. Рубин представляет собой подкрашенный следами хрома корунд. Генезис рубинов и сапфиров в природных условиях происходит при высокой (около 2000° С) температуре и давлении. Синтез этих драгоценных камней осуществляется также при высокой температуре (около 2000° С) в печах Вернейля. Работники Дулевского красочного завода (1941—1943 гг.), применив в качестве минерализатора для синтеза искусственных рубинов B_2O_3, получили возможность значительно снизить температуру образования рубиновых пигментов (до 1300° С), что позволило организовать их производство в широком масштабе. Типичными представителями рубиновых пигментов Дулевского красочного завода является пигмент № 148, представляющий собой смесь Al_2O_3 — 90%, Cr_2O_3 — 10%, H_3BO_3 — 2% и пигмент № 3а — $Al_2O_3 \cdot 2Mn_2O_3$.

Для синтетических рубиновых пигментов и получаемых на их основе красок характерен ярко-красный цвет при искусственном освещении.

Таблица XVII.2

Характеристика изоморфных смесей титановых и оловянных шпинельных пигментов

Состав пигмента	Температура прокаливания, °С	Цвет
$NiOZnOTiO_2SnO_2$	1250	Салатный
$CoOZnOTiO_2SnO_2$	1250	Зеленый
$CoOMgOTiO_2SnO_2$	1350	Темно-зеленый
$CoONiOMgOTiO_2SnO_2$	1350	Болотно-зеленый
$FeOMgOSnO_2$	1100	Коричневый
$FeOZnOSnO_2$	1100	Коричнево-оранжевый

Пигменты виллемитового ряда. Минерал виллемита $2ZnO \cdot SiO_2$ кристаллизуется в ромбической системе. При частичной замене в ZnO на окислы переходных элементов можно получить окрашенные пигменты со структурой виллемита. Эти пигменты стойки к действию температуры до 1200° С, являются лиссировочными (полупрозрачными).

В качестве керамических красок широко используется виллемит с частичным замещением ZnO на CoO.

Пигменты № 686, 685 и 825 Дулевского красочного завода, представляющие собой подобного рода виллемиты, применяются для изготовления синих надглазурных и подглазурных красок большой интенсивности и чистоты окраски.

Из разноокрашенных виллемитовых пигментов № 1 и 2 Дулевским красочным заводом были получены при температуре 1200° С в присутствии минерализатора B_2O_3 голубые, коричневые, бежевые и красные пигменты.

Характеристика этих пигментов приведена ниже.

Молекулярный состав пигмента	Цвет
$0{,}1\ CoO \cdot 1{,}9\ ZnO \cdot SiO_2$	Темно-голубой
$0{,}3\ CoO \cdot 1{,}7\ ZnO \cdot SiO_2$	Синий с зеленым оттенком
$0{,}5\ CoO \cdot 1{,}5\ ZnO \cdot SiO_2$	Ярко-синий
$CoO \cdot ZnO \cdot SiO_2$	Темно-синий
$0{,}05\ NiO \cdot 1{,}95\ ZnO \cdot SiO_2$	Небесно-голубой
$0{,}3\ NiO \cdot 1{,}7\ ZnO \cdot 1\ SiO_2$	Голубой с зеленым оттенком
$0{,}5\ NiO \cdot 1{,}5\ ZnO \cdot 1\ SiO_2$	Зеленовато-голубой
$0{,}8\ NiO \cdot 1{,}2\ ZnO \cdot 1\ SiO_2$	То же
$1\ NiO \cdot 1\ ZnO \cdot 1\ SiO_2$	Светло-зеленый
$0{,}1\ MnO \cdot 1{,}9\ ZnO \cdot 1\ SiO_2$	Бежевый с розовым оттенком
$0{,}5\ MnO \cdot 1{,}5\ ZnO \cdot 1\ SiO_2$	Светло-коричневый
$MnO \cdot ZnO \cdot SiO_2$	Коричневый с серым оттенком

Пигменты гранатового ряда. Естественно окрашенные гранаты представляют собой полудрагоценные камни ярко-вишнево-красного, зеленого и желтого цвета.

Характеристика естественных гранатов приведена в табл. XVII.3.

Таблица XVII.3

Характеристика естественных гранатов

Тип	Молекулярный состав граната	Показатель преломления	Примеси	Цвет
Пироп	$3MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1,741	FeO, Cr_2O_3, MgO, Al_2O_3	Темно-красный
Альмандин	$3FeO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1,802	FeO, MgO, Al_2O_3	Красный
Спессартин	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1,800	FeO, Fe_2O_3, CaO	Желто-красный
Андрадит	$3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1,856	FeO, MnO, Al_2O_3	Буро-красный
Гроссуляр	$3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1,744	MnO, FeO, MgO	Желтый
Уваровит	$3CaO \cdot Cr_2O_3 \cdot 3SiO_2$	1,870	FeO, Cr_2O_3, Al_2O_3	Зеленый

Дулевским красочным заводом с применением в качестве минерализаторов B_2O_7 и F осуществлен синтез разноокрашенных гранатов общего состава $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3SiO_2$, в котором CaO частично замещался на SrO, TiO, BaO, NiO, MgO, CaO, MnO и CoO; Al_2O_3 — на Fe_2O_3, Cr_2O_3 и SiO_2 — на TiO_2.

Характеристика полученных пигментов приведена в табл. XVII.4.

Таблица XVII.4

Характеристика синтетических гранатовых пигментов

MgO	CaO	SrO	ZnO	NiO	CuO	CoO	Al_2O_3	Cr_2O_3	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	Цвет
1,0	1,9	—	—	—	—	0,1	1,0	—	—	3,0	—	Голубой
1,0	0,5	—	—	—	—	1,5	1,0	—	—	3,0	—	Темно-синий
—	2,0	—	—	—	1,0	—	1,0	—	—	—	3,0	Оранжевый
—	3,0	—	—	—	—	—	0,7	0,3		3,0	—	Темно-оранжевый
—	3,0	—	—	—	—	—	0,5	—	0,5	3,0	—	Красный
—	2,5	—	—	0,5	—	—	—	—	1,0	3,0	—	Темно-коричневый
—	1,0	—	2,0		—	—	—	—	1,0	3,0	—	Красный
—	—	3,0	—	—	—	—	—	—	1,0	3,0	—	Красно-оранжевый
3,0	—	—	—	—	—	—	0,9	0,1	—	3,0	—	Розовый
3,0	—	—	—	—	—	—	0,5	0,5	—	3,0	—	Темно-розовый
—	3,0	—	—	—	—	—	—	1,0	—	3,0	—	Темно-зеленый
—	3,0	—	—	—	—	—	0,9	0,1	—	3,0	—	Светло-зеленый
—	—	3,0	—	—	—	—	—	1,0	—	3,0	—	Табачно-зеленый
—	2,9	—	—	0,1	—	—	—	1,0	—	3,0	—	Темно-зеленый

Синтетические гранатовые пигменты стойки к воздействию температур до 1200° C, при более высокой температуре они плавятся. Эти пигменты обладают повышенной кроющей способностью и могут применяться также для подкрашивания пластмасс.

Пигменты сфенового или титанитового ряда. К этому виду минеральных тел из керамических пигментов относят издавна применяемый для окрашивания преимущественно фаянса пинковый пигмент $CaO \cdot SiO_2 \cdot SnO_2$, подкрашенный $K_2Cr_2O_7$ (3—5%). Пигмент имеет брусничную окраску, переходящую в густую малиновую при увеличении содержания Cr_2O_3. Причина появления малиновой или красной окраски пинковых пигментов — образование твердого раствора оловянного сфена с Cr_2O_3. Вводя другие компоненты для частичной замены CaO, SnO_2, TiO_2 и Cr_2O_3, работники Дулевского красочного завода расширили палитру пинковых пигментов.

Пигменты цирконового ряда. Минерал циркон $ZrO_2 \cdot SiO_2$ легко синтезируется при совместном прокаливании ZrO_2 и SiO_2.

В прокаленном состоянии циркон обладает исключительной стойкостью как к воздействию высокой температуры, так и к растворяющему действию глазурей разного состава. С учетом этих свойств при введении в кристаллическую решетку циркона V_2O_5, FeO и редкоземельных окислов была разработана палитра высокопрочных пастельных тонов цирконовых пигментов.

Кроме минеральных тел указанных структур, используемых в качестве керамических пигментов, можно применять и минеральные тела других структур (пирохлоры, силлиманиты, слюды и др.).

Красные коралловые и селено-кадмиевые пигменты. Очень яркой окраской обладают соединения основного хромата свинца. В соединении с многосвинцовым флюсом пигмент дает красную коралловую надглазурную окраску.

В дореволюционное время коралл широко применяли в декорировании керамики. В дальнейшем из-за высокого содержания в коралле свинца и сильной токсичности его использование резко сократилось.

В настоящее время коралловый пигмент вытеснен красно-оранжевыми, красными и малиново-красными пигментами на основе смеси (твердого раствора) сернистого кадмия и сернистого селена $CdS \cdot SeS$. Селено-кадмиевые пигменты являются более стойкими, чем коралловые. Они обладают способностью улетучиваться при длительном действии температуры свыше 800° C и поэтому продолжительность обжига селено-кадмиевых пигментов должна быть сравнительно небольшой.

Цвет селено-кадмиевых пигментов в зависимости от соотношения в них кадмия и селена приведен в табл. XVII.5.

Таблица XVII.5

Цвет селено-кадмиевых пигментов в зависимости от содержания в них кадмия и селена

Цвет пигмента	Содержание, %	
	кадмия	селена
Оранжевый	89	11
Оранжево-красный	87	13
Светло-красный	83	17
Ярко-красный	80	20
Темно-красный	77	23
Малиново-красный	75	25
Темно-малиново-красный	71	29

Тональность этих пигментов можно изменять вводом окисей цинка и алюминия.

Пурпуровые пигменты. Одной из важнейших и красивейших керамических красок является пурпур, пигмент которого представляет собой коллоидное золото, осажденное на коллоидных гидроокисях олова или алюминия.

Существуют холодный и горячий методы приготовления пурпурового пигмента. При холодном методе к сильно разведенному водному раствору смеси хлорного $SnCl_4$ и хлористого олова $SnCl_2$ приливают раствор хлорного золота. При этом золото восстанавливается до коллоидного состояния, окрашивая раствор в вишнево-красный цвет. Коллоидные частицы адсорбируются $Sn(OH)_4$ и постепенно выпадают в осадок. Полученный осадок многократно промывают водой, к нему для усиления красного тона добавляют небольшое количество углекислого серебра и необходимое количество специального малосвинцового флюса. Более длительное промывание пигмента способствует получению более чистого тона пурпура.

При горячем методе приготовления пурпурового пигмента восстановление раствора хлорного золота производится органическими восстановителями (например, глюкозой) при кипячении в щелочной среде.

Для окраски пурпурового пигмента большое значение имеет величина коллоидных частиц золота, она должна быть в пределах 10—40 ммк. С увеличением размера частиц по сравнению с указанным пурпуровый пигмент приобретает фиолетовые и коричнево-фиолетовые тона, теряя исходную чистоту окраски.

2. НАДГЛАЗУРНЫЕ КРАСКИ

Надглазурные краски представляют собой тонкие смеси керамических пигментов с легкоплавкими стеклами, называемыми флюсами, в примерной пропорции 4 : 1.

Состав надглазурных красок и номера флюсов приведены в табл. XVII.6.

Таблица XVII.6

Состав надглазурных красок, %, и номера флюсов

Краска	Флюс: Номер	Флюс: %	Состав пигмента
Темно-синяя	75 3	25	$2ZnO \cdot CoO$
Голубая	80 12	20	$Al_2O_3 \cdot ZnO \cdot CoO$
Бирюзовая	80 7	20	$Al_2O_3 \cdot ZnO \cdot CoO \cdot Cr_2O_3$
Темно-зеленая	20 32	80	$Al_2O_3 \cdot ZnO \cdot CoO \cdot Cr_2O_3$
Сиреневая	83 27	17	$SnO_2 \cdot CoO \cdot SiO_2 \cdot PbO \cdot Cr_2O_3$
Розовая	83 27	17	$SnO_2 \cdot PbO \cdot Cr_2O_3$
Красная	83 27	17	$CdS \cdot CdSe$
Оранжевая	83 27	10	$CdS \cdot CdSe \cdot 7CdS$
Пурпуровая	77 18	20	$SnO_2 \cdot Au - Ag$
Розовая	85 18	15	Каолин + Au + Ag
Светло-коричневая	80 2	20	$ZnO \cdot FeO$
Коричневая	80 2	20	$ZnO \cdot FeO \cdot K_2O$
Темно-коричневая	82 100	18	$ZnO \cdot FeO \cdot CoO$
Черная	67 100	33	$CoO \cdot Cr_2O_3 \cdot FeO$

В результате обжига при температуре 790—830° С флюсы плавятся и закрепляют пигменты на поверхности глазури. Составы флюсов довольно разнообразны, отдельные виды пигментов требуют специальных составов для прочного закрепления их на керамических изделиях.

В основном флюсы представляют собой свинцовые, свинцово-борные, щелочные, щелочноземельные и свинцовые алюмо-боросиликаты (табл. XVII.7).

Как видно из табл. XVII.7, все флюсы содержат значительное количество окислов свинца PbO, т. е. являются токсичными. В связи с этим давно стоит задача снижения в флюсах содержания PbO или его полного исключения. Решение такой задачи весьма сложно, так как PbO, содержащийся во флюсах, обладает некоторыми ценными свойствами, которые трудно достичь введением других компонентов. К ценным свойствам относятся низкая температура плавления, малое поверхностное натяжение, невысокий коэффициент расширения и высокая лучепреломляемость, обусловливающая блеск и яркость красок. По этой причине, несмотря на большое количество патентов и предложений, бессвинцовые флюсы до сих пор не нашли практического применения.

Обычные надглазурные керамические краски на основе флюсов № 3, 2 и 34 после обжига на изделиях не обладают достаточной стойкостью к действию слабых кислот и оснований. Они выдерживают обработку в 4%-ной уксусной кислоте при комнатной температуре всего лишь в течение 3 ч.

Флюсы № 12 и 110 относятся к кислотостойким и краски на их основе выдерживают указанную обработку уже в течение 24 ч. Одна и та же надглазурная краска может иметь на изделиях разную кислотостойкость в зависимости от температуры обжига и длительности воздействия температуры. Как отмечалось выше, при обжиге надглазурных красок легкоплавкий флюс расплавляется, растворяя

Таблица XVII.7

Состав флюсов, % к их массе, и температура плавления

Номер флюса	Масса														Температура плавления, °С		
	Pb_3O_4	SiO_2	H_3BO_3	$Na_2B_2O_4$	ZnO	Al_2O_3	K_2CO_3	$CaCO_3$	TiO_2	$LiCO_3$	ZrO_2	$(NH_4)_2MgO$	Полевой шпат	Плавиковый шпат	T_1	T_2	T_3
3	67,37	22,14	—	10,49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	550	740	930
2	60	20	—	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	520	655	800
6	60	10	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	505	600	770
12	35,05	33,85	—	21,33	5,68	4,28	—	—	—	—	—	—	—	—	532	690	890
27	27,7	35,1	9,0	13,9	2,0	4,9	5,0	2,4	—	—	—	—	—	—	580	770	960
34	65,11	15,27	—	10,36	—	—	—	—	—	—	—	—	9,26	—	450	590	700
109	49,65	18,27	—	16,75	—	—	—	—	3,38	1,13	6,76	2,03	—	2,03	485	620	753
100	75,5	12,50	12,50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	460	550	715
112	34,85	33,47	7,09	10,28	5,66	4,26	—	—	—	4,39	—	—	—	—	525	705	960
113	35,15	30,8	7,16	10,38	5,72	4,3	—	—	2,02	4,43	—	—	—	—	525	675	850
110	50,73	18,60	—	17,10	—	—	—	—	3,45	1,15	6,9	—	—	2,07	495	615	770
114	57,85	29,88	—	—	3,51	2,37	—	2,37	2,37	1,84	—	—	—	—	510	670	840

при этом часть поверхностного глазурного слоя, благодаря чему при охлаждении флюс становится более кислотостойким. По такой причине применявшиеся в дореволюционное время, хотя и малостойкие к химическим воздействиям, надглазурные керамические зарубежные краски на изделиях были достаточно кислотостойкими, особенно при многократном декоративном обжиге.

Обжиг фарфора или фаянса, декорированного надглазурными красками, должен производиться в окислительной среде, так как восстановительные газы разрушают многие керамические пигменты и флюсы. Обжиг необходимо также проводить в отсутствие паров воды (от кладки печей, от огнеупорного припаса и др.), вследствие того что пары способствуют кристаллизации флюсов, и краски становятся матовыми. Такой вид брака часто называют запаркой. При обжиге керамических красок в печном канале должна быть хорошая тяга для быстрого удаления летучих паров и продуктов сгорания от органических связующих, вызывающих разрушение некоторых флюсов и красок.

3. ПРЕПАРАТЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ДЕКОРИРОВАНИЯ КЕРАМИКИ

Благородные металлы — золото, платина и серебро благодаря высоким декоративным свойствам, стойкости к окислению в обычных условиях, действию химических реагентов и температуры давно используют в украшении стекла и тонкокерамических изделий.

Благородные металлы в керамике применяют в виде порошкообразных препаратов с содержанием металла в количестве 60—100% в виде суспензий в различных органических средах с содержанием металла в пределах 17—30% и в виде жидких препаратов, представляющих собой растворы органических соединений металлов в органических растворителях с содержанием металла в количестве 10—15%.

Порошкообразное золото. В настоящее время для декорирования фарфора применяют порошкообразное золото, приготовленное восстановлением его различными способами из водных растворов хлорного золота.

Восстановителями могут быть железный купорос, щавелевая кислота, щелочный раствор перекиси водорода, водородистый мышьяк, раствор ртути в азотной кислоте и некоторые органические вещества.

Приводим отдельные реакции подобных восстановлений:

$$HAuCl_4 + 3FeSO_4 = Au + Fe_2(SO_4)_2 + FCl_3 + HCl$$

$$2HAuCl_4 + 3H_2SO_3 + 3H_2O = 2Au + 3H_2SO_4 + 8HCl$$

$$2HAuCl_4 + 3C_2H_2O_4 = 2Au + 8HCl + 6CO_2$$

$$2HAuCl_4 + 3H_2O_2 + 8KOH = 2Au + 3O_2 + 8H_2O + 8KCl$$

$$2HAuCl_4 + AsH_3 + 3H_2O = 2Au + As(OH)_3 + 8HCl$$

Толщина золотой пленки на изделиях колеблется в зависимости от содержания золота в препарате и может быть равна 2—3 ммк. Естественно, при повторных нанесениях она значительно увеличится.

Препарат жидкого золота. Препарат жидкого золота представляет собой густую маслянистую жидкость темно-коричневого цвета с содержанием золота в количестве 10—12%, Rh — 0,02—0,03%, Cr_2O_3 — 0,08—0,0359% и Bi_2O_3 — 0,2—0,5%.

Золото и другие металлы находятся в препарате в виде органических соединений, растворенных в смеси нитробензола, хлороформа и эфирных масел. Для получения необходимой консистенции к препарату золота добавляют растворы смол — канифоли, сирийского асфальта и др.

Препарат, нанесенный тонкой кистью или пером на глазурованную поверхность фарфора, оставляет на ней четкий, не растекающийся тонкий слой, который на воздухе быстро высыхает и при обжиге в муфелях при температуре 750—830° С дает блестящую, прочно закрепленную золотую пленку.

Препарат жидкого золота был изобретен в 1828 г. доктором Кюном в Мейсене и долгое время производство этого препарата было засекречено.

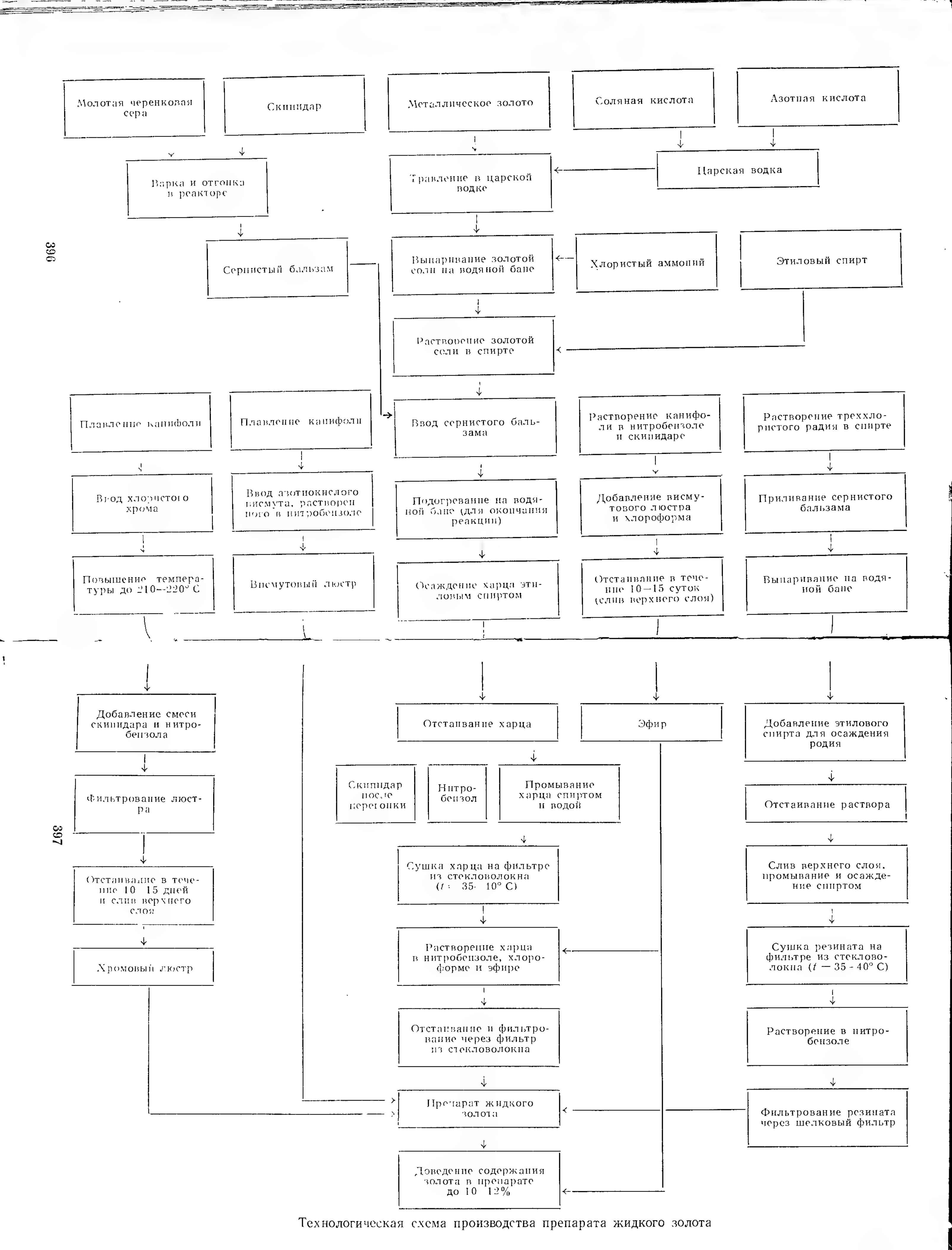
В СССР работы по получению жидкого золота проводили Будников П. П. (Иваново-Вознесенский политехнический институт), Туманов С. Г. и Грачев С. Н. (Дулевский красочный завод), Тищенко В. Е. (Ленинградский институт прикладной химии).

Технологическая схема производства препарата жидкого золота, разработанная Дулевским красочным заводом, приведена ниже.

Основные звенья этой схемы — приготовление сернистого бальзама, хлорно-аммонийной соли золота, терпенсульфида золота или харца, растворение харца в нитробензоле, хлороформе и эфире; приготовление хромового и висмутового резината, резината родия и эфира, получение препарата жидкого золота необходимой концентрации. Рассмотрим более подробно основные звенья технологической схемы изготовления препарата жидкого золота.

П р и г о т о в л е н и е с е р н и с т о г о б а л ь з а м а. В стальной эмалированный реактор с мешалкой, прямым холодильником для конденсации паров и с нагревательной рубашкой, наполненной минеральным маслом, загружают серу, скипидар и включают нагрев и мешалку. Осернение скипидара осуществляют в три последовательные стадии: нагревание смеси скипидара с серой до температуры 158—160° С внутри реактора (4—5 ч), отгонку легкой фракции терпенов при температуре 155—160° С (по окончании отгонки нагревание прекращают) и слив готового бальзама после остывания жидкости. Скорость отгонки регулируют нагреванием масляной бани таким образом, чтобы продолжительность его составила около 4 ч. Готовый бальзам сливают через нижнее отверстие реактора в соответствующую тару. Выход бальзама составляет около 75%.

Готовый продукт представляет собой коричневатую прозрачную легкоподвижную жидкость без содержания взвешенного осадка и



Технологическая схема производства препарата жидкого золота

маслянистых примесей. Согласно данным многолетней работы Дулевского красочного завода содержание серы в бальзаме равно 10—11%.

Приготовление хлорно-аммонийной соли золота. Мелко измельченное (из куска) или нарезанное на листочки (из ленты) металлическое золото помещают в стеклянную плоскодонную колбу и заливают царской водкой (3 мас. ч. HCl плотностью 1,1 и 1 мас. ч. HNO_3 плотностью 1,36). Колбу подогревают на водяной бане до полного растворения золота и частичного выпаривания. По мере выпаривания к раствору небольшими порциями добавляют HCl до полного удаления HNO_3, затем, продолжая выпаривание с добавлением воды, удаляют некоторое количество HCl. Раствор охлаждают, сливают в фарфоровую чашку, добавляют NH_4Cl из расчета 300 г на 1 кг металлического золота и при непрерывном помешивании смесь выпаривают на водяной бане досуха. При этом слабо выделяется HCl согласно следующей реакции:

$$HAuCl_4 + 4H_2O + NH_4Cl = NH_4AuCl_4 \cdot 2H_2O + HCl + 2H_2O$$

Приготовление терпенсульфида (харца) золота. Полученную из 1 кг металлического золота хлорноаммонийную соль золота загружают в фарфоровый котел вместимостью около 20 л и при помешивании заливают этиловым спиртом из расчета 5 г спирта на 1 г золота. К раствору соли приливают сернистый бальзам (3,5 г бальзама на 1 г золота).

Так как реакция проходит при сильном разогревании и кипении, бальзам добавляют в фарфоровый котел небольшими порциями в течение 1 ч 20 мин — 1 ч 40 мин. Затем для полноты образования харца фарфоровый котел подогревают на водяной бане в течение 1 ч 10 мин — 1 ч 30 мин. Содержимое котла в горячем состоянии хорошо размешивают и при непрерывном перемешивании добавляют 3—4 л этилового спирта. После отстаивания содержимого котла раствор сливают в стеклянную бутыль, а харц переносят в фарфоровую банку, в которой декантацией продолжают его промывать свежим спиртом до перехода в порошкообразное состояние. Промытый харц выливают на полотняный фильтр, натянутый на деревянную раму, и ставят в сушилку. Харц сушат при температуре, не превышающей 35—40° С. С повышением температуры сушки понижается растворимость харца в нитробензоле.

Растворение золотого харца. Для растворения золотоорганического соединения обычно применяют смеси дорогих эфирных масел — лавендулового, розмаринового, гвоздичного, анисового и сассафрасового, а также нитробензол, бензол и толуол. На Дулевском красочном заводе для растворения 1 мас. ч. золотого харца используют 0,4 мас. ч. нитробензола, 0,25 мас. ч. хлороформа и 1,9 мас. ч. так называемого эфира (раствор 1,5 мас. ч. канифоли в 1,6 мас. ч. терпентинного масла, 2,4 мас. ч. хлороформа и 0,15 мас. ч. нитробензола).

Эфир применяют для разбавления препарата золота. Вводимая в состав канифоль предназначена для придания раствору необходимых свойств при нанесении на его глазурованную поверхность керамических изделий. Вместо канифоли можно использовать сирийский асфальт (он дает лучшие результаты), кумароновые смолы. Процесс приготовления препарата жидкого золота не кончается получением раствора резината золота. Если раствор резината золота нанести на глазурованное керамическое изделие и обжечь в муфельной печи при температуре 700—750° С, то на изделии образуется незакрепленная блестящая золотая пленка, которая легко стирается.

Поэтому в препарат необходимо ввести флюсующий материал Bi_2O_3, который в виде $Bi_3(OH)_6(NO_3)_3$ или резината при обжиге приплавляет золотую пленку к поверхности изделия.

С добавлением Bi_2O_3 пленка становится хорошо закрепленной при действии температуры до 600° С, но дальнейшее повышение температуры приводит к ее выгоранию. При рассмотрении пленки под микроскопом видно, что частицы золота укрупняются и агрегируются. Блеск пленки снижается, в ней появляются белые дыры и золото легко стирается. Для придания пленке большей жаростойкости в органический раствор резината золота вводят раствор резинатов родия и хрома. Родий препятствует агрегации частиц золота, резинат хрома при обжиге переходит в Cr_2O_3 и, понижая поверхностное натяжение смеси, также приостанавливает агрегацию частиц золота.

Тон золотой пленки, получаемый от препарата жидкого золота на фарфоре и стекле после обжига, может изменяться при добавлении резинатов серебра и платины. Присутствие небольшого количества резинатов серебра придает более желтую окраску золотой пленке, а большого количества — зеленый оттенок, на чем и основано приготовление специального препарата зеленого жидкого золота для декорирования фарфора.

Для получения с помощью препаратов жидкого золота пленки высокого качества необходимо выполнять определенные требования. Золото следует наносить на чистую, сухую поверхность. Жировые пятна и неудаленная влага на поверхности фарфора и стекла препятствуют закреплению золота на изделии. Пыль оставляет на зеркальной пленке точечные выгары разной величины. Препарат нужно наносить на изделия ровным, негустым слоем, так как при высыхании и в начальном периоде обжига лаковая пленка будет разрываться и нарушать сплошность покрытия. Золото следует обжигать на фарфоре при температуре 790—830° С. Продолжительность выдержки при конечной температуре — 10 мин. При более низкой температуре обжига требуется более продолжительная выдержка, чтобы золотая пленка была прочно закреплена. Температура свыше 830° С вызывает выгорание золота, т. е. соединение мельчайших частиц золота в агрегаты.

Золото рекомендуется обжигать после закрепления красок, так как на золотую пленку вредно действуют образующиеся при обжиге красок пары органических связующих. Особенно это важно при обжиге золота, нанесенного на фарфор, поверхность которого в значительной части покрыта краской. На золотую пленку вредно действует совместный обжиг изделий с селеновыми красками. Выделяющийся из красок селенистый ангидрид разрушает флюс золотой

пленки. Толщина золотой пленки на фарфоре должна составлять не менее 0,1 ммк. Более тонкий слой пленки легко стирается и приобретает синеватый оттенок.

Получение препаратов жидкого матового полировочного золота. Для сохранения на золоте эффекта полирования в настоящее время широко применяют жидкие матовые 16, 20 и 25%-ные препараты полировочного золота, обычно получаемые путем смешения готового препарата жидкого золота или раствора резината золота с порошкообразными препаратами золота. Тон таких препаратов может быть красным при добавлении к жидкому золоту только порошкообразного золота без содержания серебра, желтым — при добавлении к нему порошкообразного золота с незначительным содержанием серебра и зеленым — при значительном количестве серебра.

Препарат жидкой платины. Платину как металл очень редко применяют для украшения фарфора, однако в ряде случаев ее используют в смеси с препаратом жидкого золота для получения так называемого блестящего серебра. Препарат жидкой платины, как и золота, получают с помощью харца, т. е. осаждением спиртового раствора хлористо-платино-водородной кислоты с сернистым бальзамом с последующим растворением платинового харца в смеси эфирных масел.

Жидкие люстровые препараты. К жидким препаратам благородных металлов близко примыкают по свойствам и технике нанесения жидкие люстровые препараты, представляющие собой также растворы органических соединений металлов часто с небольшими добавками растворов благородных металлов в органических растворителях, загущенных растворами смол.

Будучи нанесенными кистью, распылением или другими способами тонким слоем на стекло или керамику, люстры после обжига оставляют весьма тонкие пленки, имеющие характерный металлический блеск с перламутровым оттенком различных цветов.

Жидкие люстровые препараты можно изготовлять одним из следующих способов:

1) сплавлением солей металлов (уксуснокислых, азотнокислых или хлористых) с канифолью при последующем растворении смоляной соли металла в органических растворителях;

2) осаждением из водных растворов солей металлов мылами (канифольным, ядровым и др.). После промывания осадков солей указанных органических кислот и сушки эти осадки (резинаты) растворяют в тех же органических растворителях;

3) растворением терпенсульфидов металлов в органических растворителях.

Получение пурпурового люстра. Среди люстровых красок по своим декоративным свойствам особое место занимает пурпуровый люстр, дающий по стеклу окраски, имитирующие рубиновое стекло, а по фарфору - пурпуровый краситель.

В основу разработки пурпурового люстра Дулевским красочным заводом был взят золото-кремниевый люстр состава, %: 15,72%-ный раствор резината золота — 28; 13,5%-ный раствор силоксановой смолы ФГ-9 в ксилоле — 27,5; разбавитель (смесь скипидара, нитробензола и бензола) — 44,5.

К золото-кремниевому люстру добавляли растворы резинатов церия, цинка, алюминия, висмута, серебра, кальция, лития, олова, свинца и кадмия.

При анализе полученных красок установлено, что добавление резината церия в количестве 5 и 10% придает люстру красный оттенок, однако по мере увеличения количества церия окраска переходит в серо-фиолетовую. Введение резината цинка в количестве до 10% вызывает появление густых сине-фиолетовых тонов, которые при повышении содержания цинка переходят во все более красные. Резинат алюминия дает серо-синие тона и с увеличением его количества окраска темнеет, переходя при 20%-ном содержании в черно-сине-фиолетовую. При введении 5% резината висмута получается сине-фиолетовый оттенок, который с дальнейшим повышением содержания висмута переходит в красноватый. Резинат серебра дает фиолетовые тона, а резинат кальция — сине-фиолетовые, резинат лития — тоже сине-фиолетовые тона, но с переходом в красно-фиолетовые, резинат олова грязно-серые, резинат свинца — от густого сине-фиолетового (при 5%) до пурпурового (при 25%), резинат кадмия — от сине-фиолетового (при 5%) до пурпурового (при 45,5%).

Изменение окраски коллоидных частиц золота, очевидно, зависит от их величины. Толщина слоя пленки в пределах 0,10- 0,25 ммк является оптимальной. При меньшей толщине окраска переходит в слабо-розоватую, а при большей — в густо-малиновую.

Если люстр наносят чрезмерно густым слоем, пленка при обжиге растрескивается. Разность в показателях преломления люстровой пленки приводит к характерным ирризирующим красочным эффектам люстровых красок. При изготовлении разноокрашенных люстров (за исключением желтого железного) не применяют какой-либо один вид резината металла. Всегда используют их смеси и в большинство окрашенных люстров входит раствор резината золота.

Добавление резинатов алюминия и магния, окислы которых обладают наибольшим поверхностным натяжением, вызывает резкое изменение пурпуровой окраски люстра в фиолетовые и грязно-фиолетовые тона. Люстры с содержанием титана и свинца обладают максимальным блеском, очевидно, вследствие высоких показателей преломления света окислов, образующихся при обжиге этих люстров. Титановые и свинцовые люстры имеют сильно выраженный перламутровый эффект. Для люстров, у которых показатель преломления более низкий, ирризация не характерна.

4. ПОДГЛАЗУРНЫЕ КРАСКИ

Подглазурные краски для фарфора представляют собой смеси некоторых огнестойких окрашенных пигментов с сырой фарфоровой глазурью в количестве 20 -50%, иногда с добавлением и других флюсующих материалов - полевого шпата и фритты.

Наиболее стойкими для подглазурной окраски фарфора являются пигменты шпинельного, корундового и цирконового рядов. Особенно стойки пигменты цирконового ряда. Для подглазурной окраски мягкого и костяного фарфора пригодны титановые, гранатовые и пинковые пигменты. Состав подглазурных красок приведен в табл. XVII.8.

Таблица XVII.8

Состав подглазурных красок для фарфора, %

Окраска	Фарфоровая глазурь	Мел	Полевой шпат	Фарфоровый шликер (сухой)	Co_2O_3	$Al_2O_3 \cdot Mn_2O_3$	$Al_2O_3 \cdot ZnO \cdot CoO$	$Al_2O_3 \cdot MgO \cdot CoO \cdot Cr_2O_3$	$TiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot Cr_2O_3$	$FeO \cdot Cr_2O_3 \cdot MnO \cdot NiO$	$Al_2O_3 \cdot ZnO \cdot Cr_2O_3$	$Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3$	$ZrO_2 \cdot SiO_2 \cdot CoO \cdot Cr_2O_3$ $Fe_2O_3 \cdot MnO_2 \cdot NiO$	$Fe_2O_3 \cdot Cr_2O_3 \cdot CoO \cdot Cr_2O_3$
Кобальтовая	70	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Синяя	20	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	—	—	—
Светло-синяя	20	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	—	—	—
Сине-зеленая	20	10	—	—	—	—	—	70	—	—	—	—	—	—
Зеленая	20	10	—	—	—	—	—	70	—	—	—	—	—	—
Желтая	20	—	—	—	—	—	—	—	80	—	—	—	—	—
Коричневая	50	—	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	—
Розовая	—	—	—	10	—	90	—	—	—	—	—	—	—	—
Светло-розовая	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	80	—	—	—
Сиреневая	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—	—
Серая	40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60	—
Черная	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70

Краски «большого огня». Подобно подглазурным краскам краски «большого огня» закрепляются при высоких температурах. Эти краски представляют собой те же огнеупорные окислы и подглазурные краски, предназначенные для фарфора, но с большим (до 25%) содержанием глазури. Такие краски наносят на готовые обожженные глазурованные изделия.

Краски «большого огня», затертые на скипидаре или на другом связующем, подвергают второму обжигу, в результате которого они сливаются с глазурным слоем. Таким способом фарфор часто декорируют кобальтом.

Подглазурные краски-растворы. Эти краски являются разновидностью подглазурных красок и представляют собой растворы большей частью азотнокислых солей металлов — Mn, Cr, Co, Fe, Ni и Cu, окислы которых вызывают окраску керамических изделий. Подглазурные краски-растворы наносят аэрографом или кистью с такими связующими, как крахмал, патока и глицерин, которые препятствуют проникании раствора в глубь изделия и сохраняют контуры рисунка.

При обжиге соли разлагаются с образованием соответствующих окислов, дающих на керамике характерные окраски, которые, естественно, не могут быть столь интенсивными, как окраски пигментами. Они дают нежные светлые тона.

Краски-эмали. Кроме подглазурных, надглазурных и красок-растворов, в украшении фарфора определенное место занимают и декоративные эмали, представляющие собой прозрачные или заглушенные разноокрашенные тугоплавкие стекла.

ГЛАВА XVIII

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ И МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ЛИНИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФАРФОРОВЫХ И ФАЯНСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

1. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТАРЕЛОК ИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ФАРФОРА

Фирма «Джинори» (Италия) для осуществления автоматизации производства фарфоровых изделий, используемых в столовых и кафе, значительно изменила технологию изготовления этих изделий. Классический способ производства тарелок с двукратным обжигом при температуре около 1400° С и множеством других технологических и переставительных операций был заменен на технологию с однократным обжигом изделий при температуре до 1200° С,

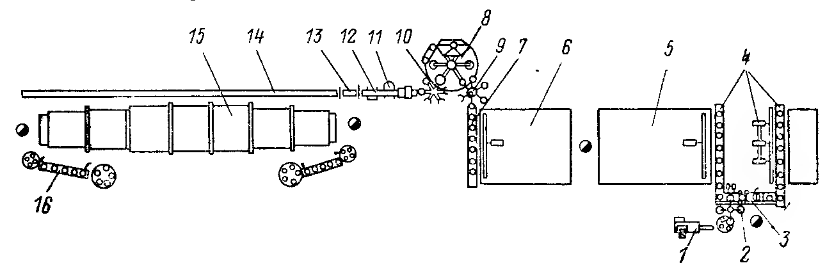


Рис. XVIII.1. Схема автоматической линии для производства тарелок из низкотемпературного фарфора

что дало возможность уменьшить количество укрупненных технологических операций до десяти и резко сократить использование рабочей силы.

Применение автоматически регулируемого режима сушки и обжига позволило уменьшить производственный брак, довести количество рабочих на линии до 8 человек в смену, использовать менее квалифицированную рабочую силу, а также сократить расход топлива и электроэнергии.

Автоматическая линия (рис. XVIII.1) в основном состоит из агрегата для формования тарелок, двух сушилок, автомата для зачистки тарелок и обеспыливания, установки для глазурования, двенадцатиканальной конвейерной роликовой электропечи для обжига, машин для шлифования и упаковки, переставительных устройств.

Ниже приведены технические характеристики основных машин автоматической поточной линии.

Агрегат для формования тарелок состоит из конвейера для подачи валюшек массы, вакуум-пресса *1*, автоматической пласторезки, машины для разводки пласта *2*, транспортера для подачи пластов к формовочному автомату, формовочного автомата *3* и переставителей *4* для передачи гипсовых форм в сушилку и обратно на формование.

Вакуум-пресс подает цилиндрический брус массы диаметром до 150 мм к автоматической пласторезке. Часовая производительность вакуум-пресса до 1000 кг/ч при мощности привода 11 кВт.

Автомат для формования тарелок выполняет две операции — разводку пласта и формование. Для хорошего сцепления пласта с гипсовой формой полый шпиндель формующего автомата присоединен к вакуумному устройству.

Техническая характеристика автомата для формования тарелок

Производительность, шт. ч	300—600
Частота вращения, c^{-1} (об/мин):	
ролика	2—5 (120—300)
шпинделя	2,5—6,7 (150—400)
синхронизирующего кулачкового вала	0,8—0,16 (5—10)
Суммарная мощность электродвигателей формующего полуавтомата, кВт	3,45
Мощность нагревателя формующего ролика, кВт	3,5
Габарит, мм:	
длина	2300
ширина	1800
высота	1700
Масса, кг	2200

Переставительное устройство загружает сушилку гипсовыми формами с заформованными тарелками для предварительной сушки и выгружает из сушилки освободившиеся гипсовые формы. Мощность электродвигателя для съема форм 0,18 кВт, мощность двигателя для загрузки форм 0,55 кВт.

Сушилка *5* для предварительной сушки изделий на гипсовых формах до влажности 14—16% оборудована конвейером с полками, свободно подвешенными на цепях. На каждой полке размещают по шести гипсовых форм диаметром не более 330 мм. Во второй сушилке *6* досушивают тарелки, снятые с форм. Съем тарелок и перестановка их во вторую сушилку осуществляются вручную. При этом на дно тарелок наносят штамп.

Техническая характеристика сушилок

Производительность, шт. ч	660
Суммарная мощность приводов конвейеров и вентиляторов, кВт	33,4
Габарит каждой камеры, мм:	
длина	11 700
ширина	3 500
высота	4 400
Продолжительность сушки, мин	90

Работа машины для оправки тарелок синхронизирована пульсирующим транспортером *7* с работой сушилки. Автомат *8* состоит из шпинделей для зачистки, устройства для центровки, устройства *9* для передачи высушенных тарелок с транспортера к шпинделям зачистки, устройства *10* для передачи тарелок на ленточный транспортер и механизмов для зачистки тарелок.

Техническая характеристика машины для оправки тарелок

Производительность, шт. ч	660
Общая мощность приводов, кВт	7,5
Расход, м³ ч:	
воды	1,0
воздуха	0,1

Установка для глазурования состоит из двух камер *11*, оборудованных пульверизаторами, центробежного насоса и бетонных сборников — с мешалкой для рекуперации глазури, с мешалкой для глазури после рекуперации и для декантирования глазури. Общая мощность электродвигателей около 20 кВт.

Машина для зачистки ножки тарелок от глазури *12* состоит из двух лент (из губчатой резины), перемещающихся с разной скоростью и передающих тарелки по транспортерам *13* и *14* к печам.

Техническая характеристика машины для зачистки ножки тарелок

Размеры, мм, ленты:	
основной	2140×150
для подачи тарелок	740×300
Мощность привода, кВт	1,1
Длина машины, мм	2900

Конвейерная роликовая печь «Сити» для обжига тарелок *15* имеет 12 каналов, расположенных в четыре яруса, таким образом, что в двух изделия передвигаются в одном направлении и в двух — в противоположном. Печь имеет семь секций. Ширина канала 370 мм, высота от уровня роликов 115—130 мм.

Металлические ролики конвейера, изготовленные из труб, устанавливают в зоне, где температура не превышает 1050° С. В зоне высокой температуры применяют ролики из высокоглиноземистого материала. Срок службы роликов не менее трех лет.

Изделия поступают в печь для обжига на ребристых поддонах из кордиеритовой массы.

Техническая характеристика печи для обжига изделий

Производительность, шт. тарелок в сутки	12 500
Мощность электродвигателя, кВт	117
Температура при однократном обжиге, °С:	
рабочая	1 180
максимальная	1 200
Длина печи, мм	36 000

Ножки обожженных тарелок зачищают на станках *16*.

Автоматическая линия для производства тарелок работает следующим образом. Когда выходящая из мундштука вакуум-пресса скалка массы перекрывает световой луч, с помощью датчика разры-

вается электроцепь вакуум-пресса и одновременно включается пневмопривод резательного механизма. Струна отрезает пласт, который падает на турнетку *1* карусельного стола *2* (рис. XVIII.2). Луч света, воздействуя на фотоэлемент, приводит в действие вакуум-

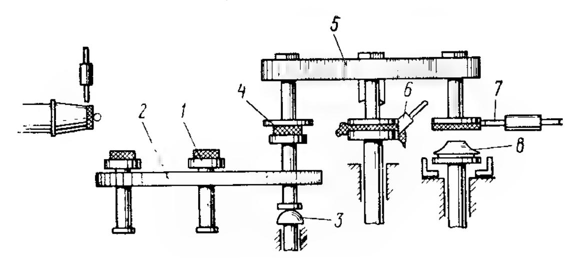


Рис. XVIII.2. Схема автомата для разводки пластов

пресс, отключает резательный механизм и таким образом процесс повторяется. Турнетка *1* вместе с пластом поднимается вверх и толкатель *3* прижимает его к диску *4* крестовины *5*, к которому пласт и прилипает.

Вследствие того что поверхность турнетки покрыта пенополиуретановой губкой, пласт легко отстает от нее. При повороте диска на 90° пласт устанавливается на позицию с помощью крестовины разводки, где он обрабатывается двусторонним шаблоном *6*.

При следующем повороте диска разведенный пласт отделяется от диска струной *7* и падает на гипсовую форму *8*, находящуюся в это время на первой позиции формовочного автомата. Формование осуществляется нагретым роликом, излишняя масса срезается и удаляется. Форма передается на группирователь, где накапливается шесть форм с формованными тарелками. После этого формы толкателем сдвигаются на полки сушилки. Одновременно второй толкатель выдвигает с полки сушилки шесть пустых форм.

Продолжительность передвижения толкателя и ритм пульсирующего движения конвейера в сушилку—30 с, продолжительность

Рис. XVIII.3. Схема роторного автомата для оправки краев тарелок:

1 — карусельный стол; *2* — вращающаяся турнетка для установки тарелок транспортирующим ротором; *3* — вращающийся прижим; *4* — инструмент для зачистки краев тарелок; *5* — вытяжка для удаления пыли; *6* и *7* — кулачки для управления рычагами прижимов; *8* — губчатая лента для промывания краев тарелок; *9* — щетка дополнительной зачистки

сушки при температуре 60° С — 1 ч 20 мин. По окончании предварительной сушки тарелки вручную снимают с гипсовых форм, сортируют, клеймят и устанавливают (на ножку) на полки сушилки для окончательной сушки. Продолжительность окончательной сушки при температуре 100° С — 1 ч.

Высушенные тарелки с полок подают толкателем на ленточный пульсирующий транспортер, работающий в том же ритме. Этот транспортер передает тарелки на роторный автомат (рис. XVIII.3) для оправки краев тарелок. После оправки изделия очищают от пыли и направляют в глазуровочные камеры. Тарелки глазуруют методом пульверизации. Тарелки после зачистки ножки поступают на обжиг. Загрузку печи и выгрузку из нее изделий осуществляют двое рабочих. Обожженные тарелки зачищают и передают на упаковку. В смену линию обслуживают восемь рабочих: формовщик, переставновщик, два загрузчика печи и четыре сортировщика.

Общая длина линии около 90 м, ширина 12 м.

2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ И СУШКИ ТАРЕЛОК

Фирма «Тюрингия» (ГДР) изготовляет двух- и четырехшпиндельные линии, работающие на некоторых отечественных и зарубежных предприятиях.

Автоматическая двухшпиндельная линия KDTe-A2 выполняет следующие операции: вакуумирование массы, формование скалки массы, разводку и обрезку пласта, прижатие пласта к гипсовой

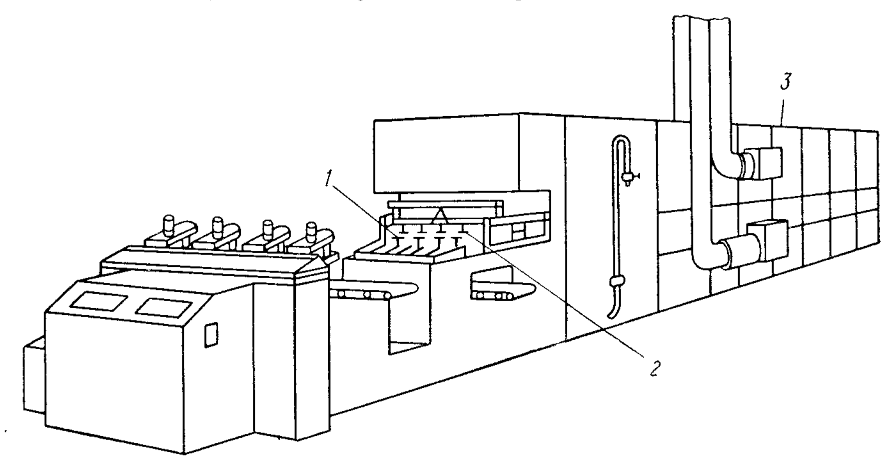


Рис. XVIII.4. Общий вид автоматической линии KDS-A4

форме, формование тарелок с помощью роликов, двухстадийную сушку, а также перестановку и транспортирование форм.

Двухстадийное формование позволяет устранить структурную неоднородность массы, возникающую при формовании скалки ва-

куум-прессом с малым диаметром шнека. Эта операция потребовалась вследствие установки в формовочно-сушильной линии отдельного вакуум-пресса. В более совершенных формовочных машинах используют цилиндрический брус, изготовляемый общим мощным вакуум-прессом для многих формовочных машин.

Рис. XVIII.5. Схема формовочного шпинделя с вакуумным присосом гипсовых форм:

1 — форма; 2 — шнур из пластмассы или стальное кольцо; 3 — резиновое кольцо; 4 — пустотелый шпиндель

Сушильные камеры имеют три зоны сушки: две для предварительной сушки при температуре 65 °С и одна для окончательной без гипсовых форм при температуре 100 °С. Как видно из технической характеристики (табл. XVIII.1), формовочно-сушильная линия KDTe-A2 отличается неблагоприятными показателями энергоемкости при малой производительности.

Этот же завод изготовил более производительную четырехшпиндельную автоматическую линию KDS-A4, проверенную в работе на фарфоровом заводе в г. Кольдиц (ГДР). Эта линия предназначена в основном для изготовления тарелок диаметром 170—210 мм. Благодаря наличию четырех шпинделей на линии можно одновременно вырабатывать тарелки и блюдца четырех различных форм и размеров.

Автоматическая линия KDS-A4 для изготовления тарелок (рис. XVIII.4) состоит из формовочного полуавтомата *1*, переставителя *2*, сушильной камеры *3* и двух систем цепных конвейеров с полками.

Таблица XVIII.1

Технические характеристики автоматических линий KDS-A4 и KDTe-A2

Показатель	KDS-A4	KDTe-A2
Производительность, шт. тарелок в час	1200—1600	700—800
Количество формующих шпинделей	4	2
Продолжительность сушки, мин:		
на гипсовых формах	27	27
без гипсовых форм	27	26
Расход тепла, кДж/ч (ккал/ч)	560 000 (140 000)	800 000 (200 000)
Габарит, мм:		
длина	20 500	20 000
высота	3 500	3 500
ширина	3 650	3 600
Масса, кг	2 100	1 800
Мощность привода, кВт	37	47

В отличие от двухшпиндельной линии KDTe-A2 в этой линии отсутствуют машины для формования скалки, дозирования и разводки пласта. Ритм формовочных механизмов и сушилки синхронизируется с помощью двух мальтийских передаточных механизмов. Рабочий, обслуживающий формовочную машину, нарезает и накладывает пласты на гипсовые формы. После наложения пластов четыре гипсовые формы, находящиеся на полке, поступают на формование. Здесь формодержатели, закрепленные на шпинделях формовочной машины, снимают с полки гипсовые формы с наложенными пластами и поднимают их навстречу вращающимся роликам, которые формуют тарелки. Затем шпиндели, опускаясь, оставляют гипсовые формы с изделиями на полке конвейера, подающего их в сушилку. На шпинделях предусмотрен вакуумный присос (рис. XVIII.5) гипсовых форм к формодержателям. Обрезки массы удаляют с помощью транспортера. Главный привод сушилки состоит из электродвигателя, клиноременного вариатора, червячного редуктора и мальтийского механизма.

После предварительной сушки тарелок до твердости кожи вакуумный переставитель (рис. XVIII.6) снимает их с гипсовых форм и перекладывает на полку второй ветви сушилки для окончательной

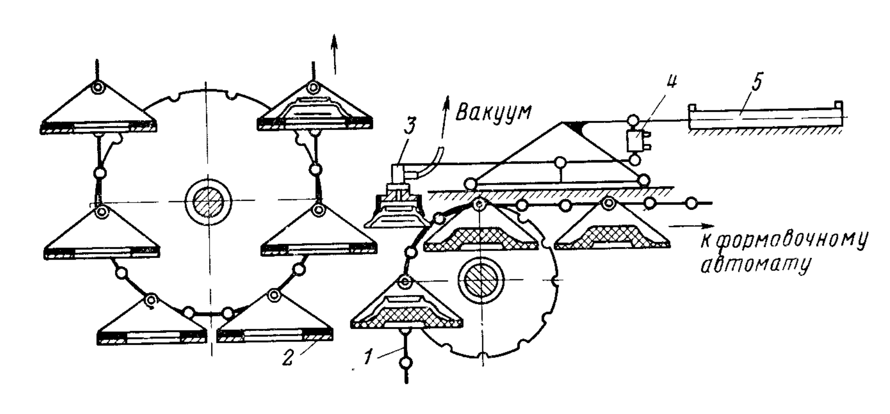


Рис. XVIII.6. Схема вакуумного переставителя тарелок в сушилке:

1 — конвейер предварительной сушки на формах; 2 — конвейер для сушки без форм; 3 — вакуумный присос переставителя; 4 — гидроцилиндр для подъема каретки; 5 — гидроцилиндр для горизонтального перемещения

сушки. Освобожденные от изделий гипсовые формы после подсушки подходят к позиции наложения пласта. Формы, треснувшие при сушке, удаляют, встряхивая их в наклонном положении.

Предварительную и окончательную сушку изделий производят в одной сушилке. Нижняя ветвь конвейера, предназначенная для предварительной сушки, приводится в движение непосредственно от главного привода, верхняя — через соединительный вал и промежуточную передачу.

Существенным недостатком этой линии является ручное наложение пласта на гипсовую форму. В линии KDS-A4 взамен ручного разрезания пластов можно применить механизм простой конструкции (см. гл. VII, описание формовочно-сушильных автоматов).

3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ФЛТ-9 ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ И СУШКИ ТАРЕЛОК

Автоматизированная линия ФЛТ-9 (рис. XVIII.7) разработана ЦПКТБ Минлегпрома РСФСР и внедрена на Дулевском фарфоровом заводе.

Она состоит из дозатора *1* массы, транспортера *2* форм, формовочного автомата *3*, переставителя *4*, сушилки *5* и транспортера *6* форм.

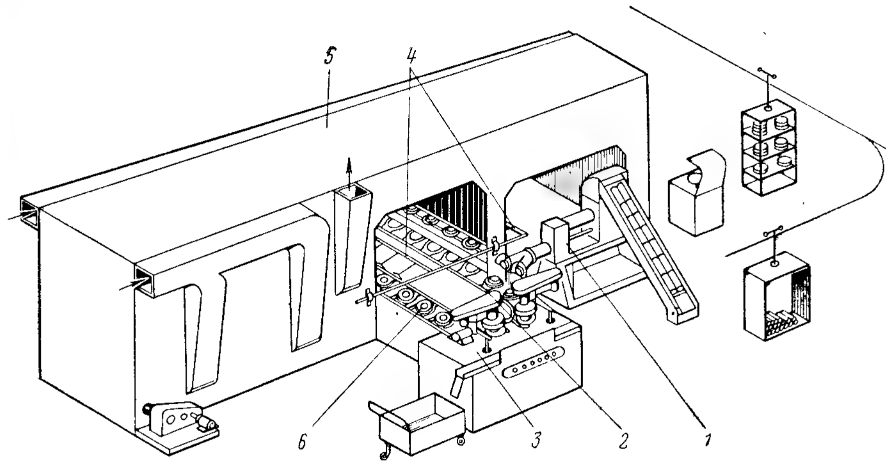


Рис. XVIII.7. Схема автоматизированной линии ФЛТ-9 для формования и сушки тарелок

Дозатор представляет собой вакуум-пресс, к которому транспортером подают заготовки массы. На выходе вакуум-пресса установлен двойной мундштук с механизмом отрезания пластов.

Транспортер форм — горизонтально-замкнутая двухрядная цепь с вилочными захватами периодически подает формы в ритме, согласованном с работой формовочного автомата.

Формовочный автомат состоит из двух шпинделей, двух роликовых головок, двух приспособлений для обрезки массы и транспортера для удаления отходов.

Переставитель форм имеет самостоятельный кулисный механизм привода.

Конвективная конвейерная сушилка имеет индивидуальный привод, сблокированный с остальными агрегатами линии электрическими пусковыми приборами.

Автоматизированная линия ФЛТ-9 работает следующим образом. Скалки массы формовщик загружает в транспортер-питатель, подающий их в загрузочную воронку вакуум-пресса. С помощью струны от выходящих из двух мундштуков скалок автоматически отрезаются пласты, которые ложатся на гипсовые формы. Затем формы с пластами перемещаются к формовочным головкам. По пути они проходят под роликом, который обжимает пласты на гипсовой форме. При подъеме шпинделей формы приподнимаются формодержателями и, вращаясь, прижимаются к формовочным роликам: одновременно формуются две тарелки. Далее шпиндели, опускаясь, оставляют формы с тарелками на транспортере *2*, который передает их в накопитель. На этой позиции толкатель *4* перемещает шесть форм с изделиями на люльки сушилки *5*.

В конце формования излишки массы срезаются ножами и с помощью транспортера удаляются. После сушки изделия снимают вручную с гипсовых форм. Эти формы через сушилку возвращаются на транспортер *2*. Переставление шести гипсовых форм с люльки осуществляется толкателем *4* одновременно с передачей шести заформованных форм с транспортера *6* в сушилку. Далее транспортер *2*, периодически перемещаясь на две позиции, подает свободные формы под дозатор массы, и цикл повторяется.

Линию обслуживают трое рабочих: один укладывает массу на транспортер питателя вакуум-пресса и контролирует работу формовочных узлов, а двое снимают и оправляют изделия.

Техническая характеристика

Производительность агрегата ФЛТ-9, количество изделий в час	650—800
Количество люлек в конвейере	135
Шаг цепи, мм	200
Расход воздуха в сушилке, м³, в час	40 000
Температура воздуха, °С	70—75
Время сушки, мин	30
Установленная мощность двигателей, кВт	25
Габарит сушилки, мм:	
длина	12 000
ширина	4 200
высота	4 000
Масса, т	18

4. ПОТОЧНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ И СУШКИ ЧАШЕК

Поточная линия для производства чашек фирмы «Цайдлер» (ФРГ) состоит из загрузочного наклонного транспортера, вакуумпресса, дозирующего пресса *1*, формующего роликового агрегата с двумя головками *2*, сушилки *3* для подвяливания с горизонтальным замкнутым транспортером *4*, переставителя *5* на горизонтальный транспортер зачистки *6*, автомата *7* для приклеивания

ручек, переставителей *8—10*, подающих чашки на транспортер и на полки сушилки *11* (рис. XVIII.8).

Линия выполняет в автоматическом режиме следующие операции: подачу по наклонному транспортеру массы в вакуум-пресс, вакуумирование, дозирование заготовок в формы, формование, подвяливание изделий, удаление изделий из форм и передачу их на горизонтальный транспортер зачистки, приклеивание ручек, передачу сухих чашек на полки сушилки и сушку изделий.

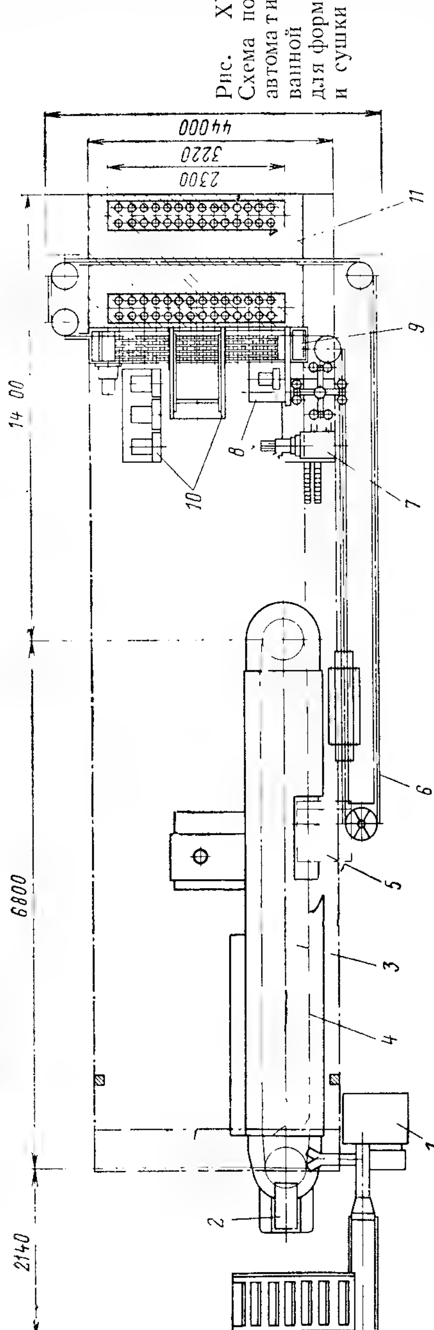


Рис. XVIII.8. Схема поточной автоматизированной линии для формования и сушки чашек

Техническая характеристика поточной автоматизированной линии (с выносной ветвью сушилки) для формования и сушки чашек

Производительность, шт. изделий в час	1200
Мощность электроприводов линии с подвялочной камерой, кВт	64,0
Мощность приводов сушилки, кВт	5,5
Расход тепла, кДж/ч (ккал/ч)	160 000 (40 000)
Габарит, мм:	
длина	14 600
ширина	4 400
высота	3 500

Отличительными особенностями этой линии являются: использование горизонтальных цепных замкнутых транспортеров в подвялочной камере и агрегате зачистки, применение при подвяливании изделий направленного потока теплоносителя, возможность сопряжения этой линии с оборудованием, выполняющим последующие операции — обдувку, глазурование, зачистку и склеивание чашек попарно. Эту линию можно также использовать для формования блюдец с соответствующим упрощением, так как при этом отпадает оборудование для приклеивания ручек.

5. ПОТОЧНАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧАЙНИКОВ

Значительный интерес представляет поточная линия* для изготовления чайников, разработанная конструкторским бюро Дмитровского фарфорового завода применительно к использованию имеющейся производственной площади действующего формовочного цеха и примыкающего к нему одноэтажного здания туннельного цеха. Это типичный пример линий, оборудуемых в реконструируемых цехах, когда полуавтоматы еще не созданы, а только проектируются их первоначальные варианты [5, 6] для механизации сложных ручных операций.

На поточной линии (рис. XVIII.9) выполняют следующие операции: формование, подвяливание, пробивку сетки, оправку, приставку, окончательную сушку, обдувку, глазурование, загрузку на этажерки туннельных вагонеток.

Поточная линия состоит из четырех конвейерных сушилок *1*, восьми формовочных станков *2*, конвейеров и рабочих мест для ручной обработки. Отформованные и подвяленные в сушилках *1* корпусы чайников цепным транспортером *3* передают на рабочие места *4* для пробивки сетки в корпусе и зачистки шва. Двухленточный транспортер *5* подает чайники к рабочим местам оправщиков *6* и приставщиков *7*. Готовые чайники с помощью выносной ветви люлечного конвейера *8* передают в конвейерную сушилку, расположенную на третьем этаже. После сушки с помощью той же выносной ветви конвейера изделия поступают на первый этаж, где выполняются следующие операции: парафинирование ножки, окончательная отделка *9*, обдувка и глазурование на четырехрядной глазуровочной машине *10*. Глазурованные изделия конвейером *11* подаются для загрузки на этажерки вагонеток *12*, которые передвигаются по путям *13* в туннельные печи *14*.

На поточной линии использованы скоростные газовые сушилки, позволяющие сократить продолжительность цикла предварительной сушки с 2 ч до 3,1 мин. Цикл обработки изделий от формования до обжига составляет 7 ч.

6. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ПОТОЧНЫЕ ЛИНИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЧАШЕК

Механизированные поточные линии для формования чашек работают на наших заводах в двух типичных вариантах. На Дмитровском фарфоровом заводе на основе двух формовочных автоматов фирмы «Сервис» (Англия) и скоростной подвялочной сушилки организована механизированная поточная линия с использованием люлечных конвейеров для перемещения полуфабриката в двух смежных помещениях (в старом трехэтажном корпусе и в новом цехе туннельных печей).

* В главе XVIII § 5—8 написаны И. А. Булавиным.

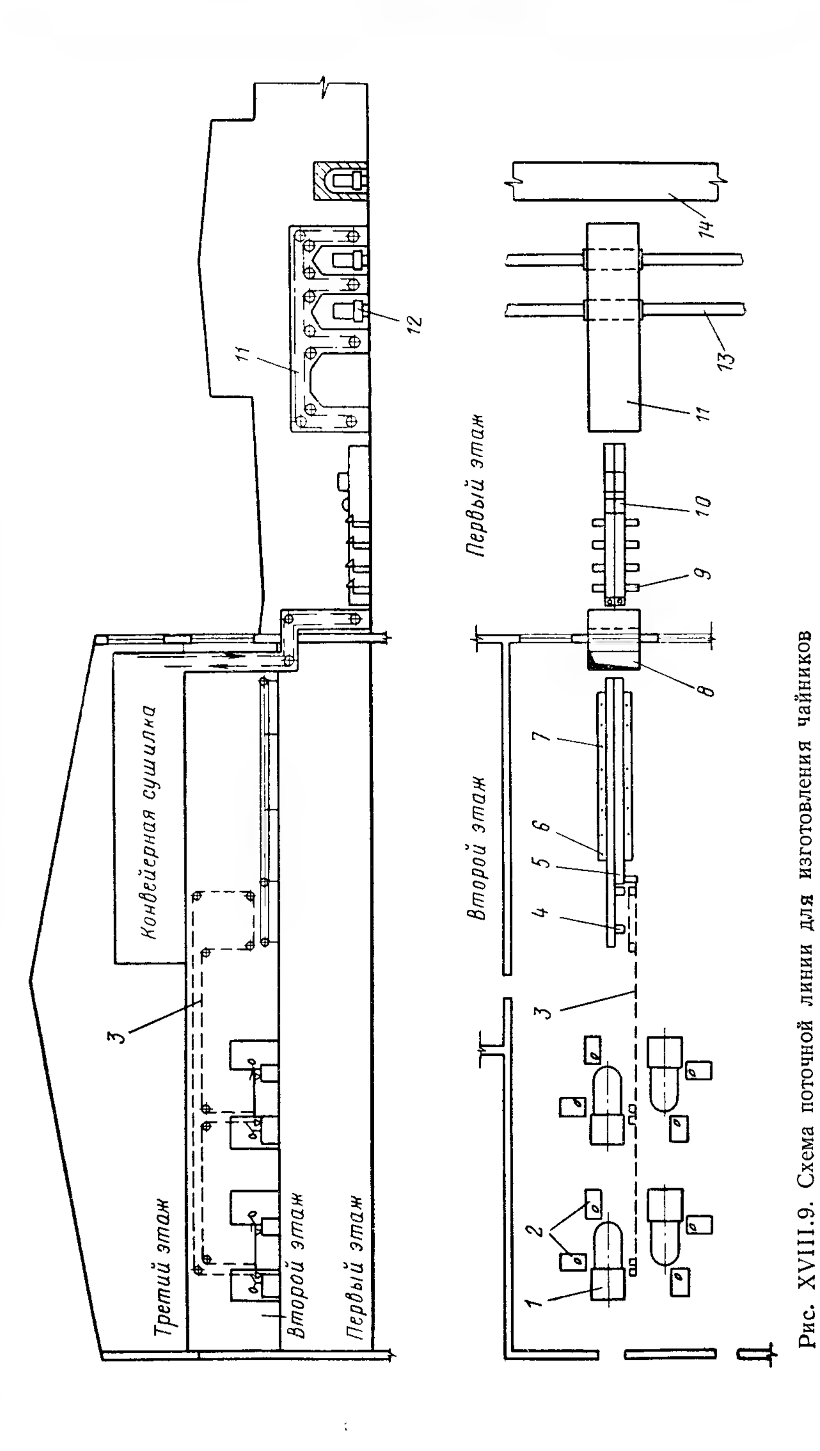


Рис. XVIII.9. Схема поточной линии для изготовления чайников

По второму варианту организованы две поточные линии на Дмитровском и Барановском фарфоровых заводах на основе четырехшпиндельного формовочного автомата фирмы «Нетч» (ФРГ), скомбинированного с подвялочной конвейерной сушилкой, механизмом для оправки чашек, приспособлением для приклеивания ручек и со второй сушилкой.

На механизированной поточной линии типа «Сервис» на Дмитровском заводе (рис. XVIII.10) выполняют следующие процессы:

подачу заготовок в форму и автоматическое формование чашек;

предварительную сушку изделий при температуре 150—250° С продуктами горения природного газа в течение 1,5 мин;

оправку краев чашек на оправочном полуавтомате;

сушку в конвейерных сушилках;

глазурование в полуавтоматах;

механизированную передачу изделий.

Продолжительность обработки изделий от формования до загрузки на вагонетки туннельной печи составляет около 7 ч.

На формовочно-сушильном участке каждой линии освобождается 11 человек в смену.

Вручную выполняют: приставку ручек, спаривание и склеивание чашек и загрузку их на этажерки печных вагонеток.

На втором этаже формовочного цеха установлены два формовочно-сушильных агрегата *1* типа «Сервис» с оправочными полуавтоматами *2*. Отформованные, предварительно высушенные и оправленные на этих агрегатах чашки ленточным транспортером *3* подают к рабочим местам приставщиков.

Обработанные изделия люлечного конвейера *4* подают по выносным вертикальным ветвям *5* на третий этаж в конвейерную сушилку *6* для окончательной сушки, после чего по такой же вертикальной ветви чашки опускают на первый этаж.

На первом этаже туннельного цеха, где установлены парафиновая ванна *7* и две глазуровочные машины *8*, парафинируют края чашек и осуществляют внутреннее глазурование.

Во избежание размокания чашек на поточной линии осуществляется раздельное глазурование с промежуточной подсушкой в течение 15—20 мин на передаточном транспортерном устройстве *9*. Наружное глазурование выполняют на машине *10*, после чего чашки устанавливают на полки транспортерного устройства *11* и подают к рабочим местам склейщиков *12*. Далее этим же транспортерным устройством чашки передают для установки на печные вагонетки *13*.

Расчетная производительность поточных линий — 14 000 шт. чашек двух фасонов в смену.

В поточной линии типа «Нетч» (рис. XVIII.11) сделана попытка связать формовочно-сушильный четырехшпиндельный автомат *1* с вакуумным подъемником *2* и поворотным механизмом *3*, с механизмом зачистки края *4* и с устройством *5* для ручного приклеивания ручек. Чашки с ручками устанавливают вручную на конвейер сушилки *6*.

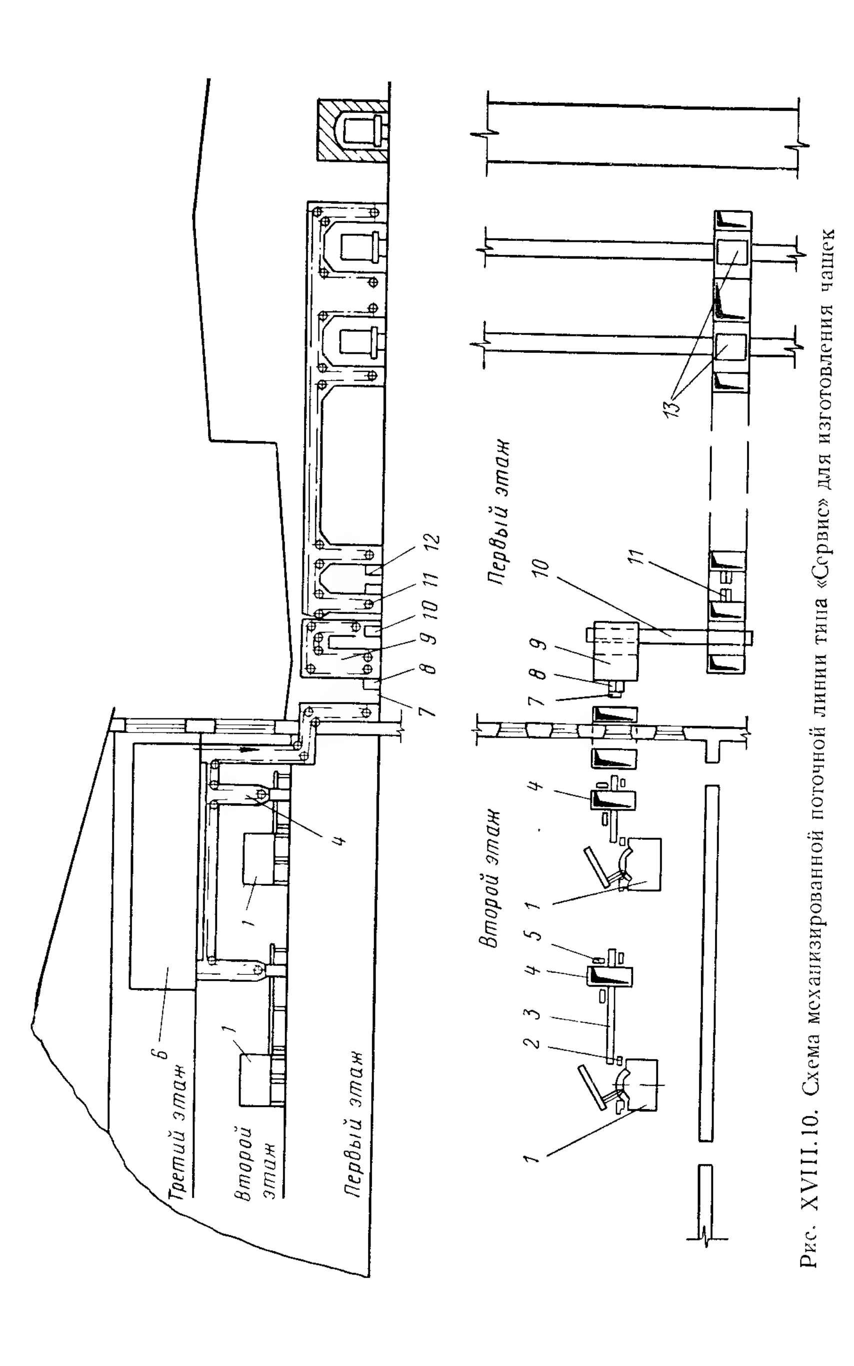


Рис. XVIII.10. Схема механизированной поточной линии типа «Сервис» для изготовления чашек

В этой линии автоматически формуют и оправляют корпуса чашек. Оправку, приставку ручек к изделиям, глазурование, спаривание, склеивание чашек и подачу их на обжиг выполняют в основном вручную применительно к местным условиям. Основные процессы выполняют следующим образом.

Заготовки массы диаметром 55—60 мм и длиной 450—500 мм подают в два ленточных дозатора с автоматизированными струнными резаками, а затем вручную закладывают в гипсовые формы.

Четыре подъемных шпинделя прижимают формы к четырем формующим головкам, закрепленным на трубчатой раме над выносной горизонтальной ветвью конвейерной сушилки.

Формующий ролик вращается вследствие захвата его массой при погружении в гипсовую форму в процессе формования. Нажимом тормозных лент регулируют частоту вращения ролика.

Формующие ролики имеют электроподогрев и заменяются после формования 350 тыс. чашек.

Полки в сушилке для предварительной сушки изделий перемещаются синхронно с работой формовочной машины цепным пульсирующим конвейером. На полке размещаются четыре формы для чашек или блюдец. Чашки переставляют из сушилки вакуум-подъемником и вакуум-кантователем с резиновыми присосами в подставки для чашек и блюдец на горизонтальном полочном конвейере. Транспортер подает чашки на позиции зачистки краев и приклеивания ручек. Автомат для зачистки краев чашек имеет губчатый диск, вращающийся в ванночке с водой от индивидуального привода. Диск с ванночкой и приводом совершает возвратно-поступательное движение, синхронизированное с перемещением транспортера. Над шпинделями закреплены прижимные диски с подпружиненными кронштейнами.

По замыслу конструкторов механизм для приклеивания ручек к чашкам должен был облегчить выполнение ручной операции и высвободить рабочую силу, однако его применение не обеспечило ожидаемого экономического эффекта.

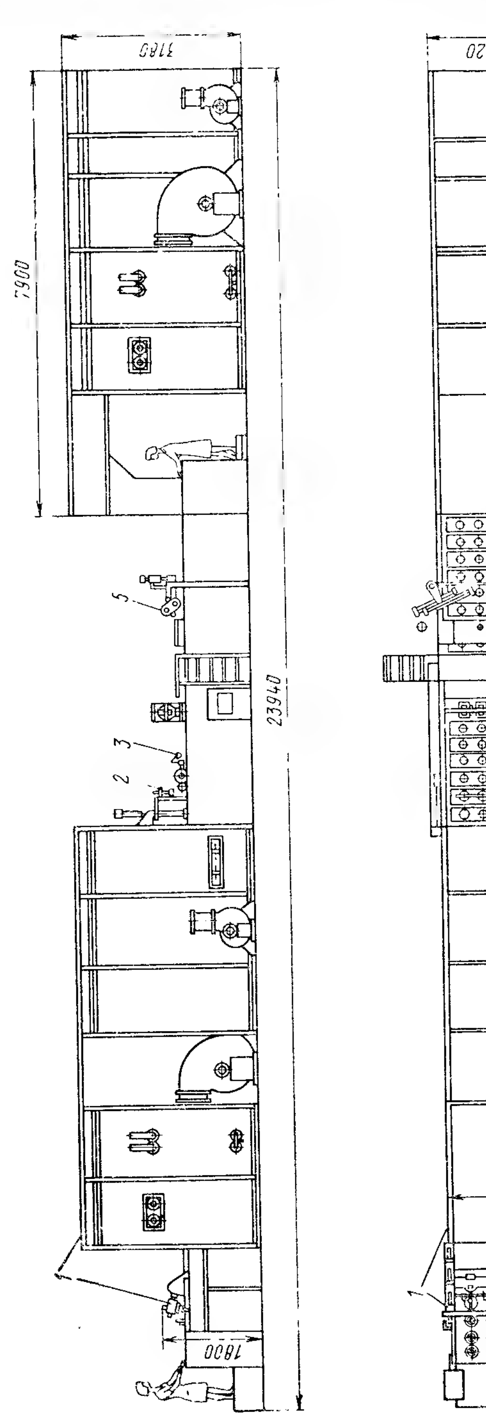
Блюдца формуют так же, как и чашки, — ножкой вниз. Формы с отформованными изделиями опускаются в гнезда на полках конвейера и поступают в сушилку, где подвяливаются горячим воздухом, струи которого направлены в полость чашек или блюдец, что ускоряет подвяливание.

Края блюдец на данной поточной линии не зачищают, так как установленный для этого механизм не обеспечивает высокого качества обработки изделий.

В 1969 г. на Дмитровском фарфоровом заводе были сданы в эксплуатацию две автоматические поточные линии по производству чашек фирм «Нетч» и «Сервис».

Длительная эксплуатация в условиях одного предприятия двух одинаковых по назначению, но различных по конструкции автоматических линий, позволяет объективно сопоставить их работу.

Достигнутая производительность обеих линий почти одинакова — примерно 1000 шт. изделий в час.



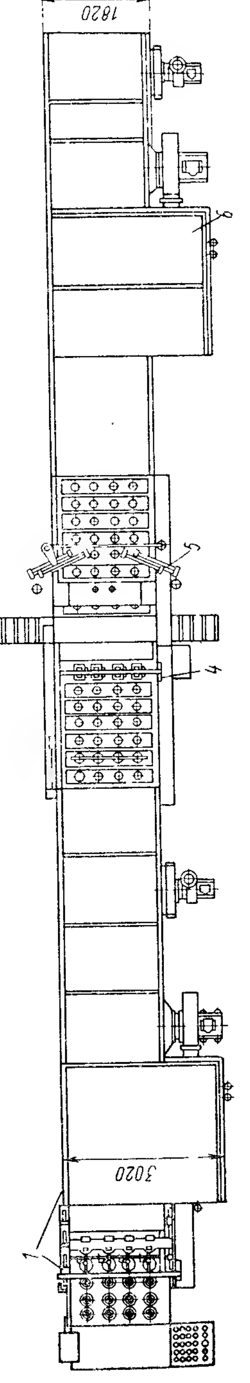


Рис. XVIII.11. Схема поточной линии «Нетч» для изготовления чашек

Поточную линию фирмы «Нетч» обслуживают 7 рабочих, а линию фирмы «Сервис» — 5 рабочих.

Количество отходов производства на поточной линии фирмы «Нетч» в два раза больше, чем на поточной линии фирмы «Сервис».

Линия фирмы «Нетч» по сравнению с линией фирмы «Сервис» занимает в три раза больше производственной площади.

Эксплуатационные характеристики поточной линии фирмы «Нетч» гораздо хуже, чем линии фирмы «Сервис».

Кроме того, следует заметить, что поточная линия фирмы «Нетч» очень сложна в эксплуатации и нередко выходит из строя из-за различных поломок. Чаще всего выходит из строя блок перестановки изделий из форм на конвейер для дальнейшей их обработки. При выполнении этой операции возникают различные дефекты и резко возрастают технологические отходы.

Узел приклеивания (приставки) ручек к изделиям наладить не удалось из-за его технического несовершенства и до настоящего времени ручки приставляют вручную.

Следует также заметить, что линия фирмы «Нетч» имеет четыре формующих органа, а в конструкции не предусмотрена возможность работы трех линий при останове одной линии на ремонт. При неисправности, возникшей в одном потоке, приходится останавливать всю поточную линию.

7. НЕПРЕРЫВНО-ПОТОЧНЫЕ ЛИНИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОФАРФОРА

В производстве электрофарфора разных типов применяют в основном три способа формования изделий. Из пластичной массы формуют штыревые и подвесные изоляторы, а также цилиндрические и трубчатые заготовки для изготовления крупногабаритных покрышек (бушингов) с обточкой на автоматах.

Из порошкообразной массы прессуют установочные изоляторы сложной формы для внутренних сетей, радиотехнического и другого оборудования. В зависимости от сложности технологических процессов и степени их автоматизации распространены непрерывно-поточные линии разных типов. В механизированных линиях еще имеются операции, выполняемые вручную, но уже полностью механизированы процессы, требовавшие тяжелого физического труда, и транспортные операции.

В частично или полностью автоматизированных линиях все основные процессы выполняют автоматы или полуавтоматы. В них широко используют переставители и специализированные транспортеры с пульсирующей подачей полуфабриката из одной машины в другую, в сушилку или в печь непрерывного действия. В качестве примера приводим описание и технические характеристики оборудования автоматической линии Славянского изоляторного завода, спроектированной Славянским филиалом Государственного исследовательского института электрокерамики (ГИЭКИ) для производства высоковольтных подвесных изоляторов ПМ-4,5.

Автоматическая линия состоит из полуавтоматов револьверного типа для формования, описанных в гл. VII, и автоматов для оправки и глазурования подвесных изоляторов, связанных переставителями (манипуляторами) с конвейерными сушилками в единую автоматически действующую систему машин. Принцип действия отдельных машин известен и проверен в производстве изоляторов других типов. В этой автоматической линии впервые запроектированы формование подвесных изоляторов в стальных формах довольно сложной конструкции вместо гипсовых форм, широко используемых в производстве тонкой керамики, а также автоматические переставители (манипуляторы), заменяющие рабочих, занятых перекладыванием полуфабриката при обслуживании полуавтоматических непрерывно-поточных линий.

Первый процесс — формование изоляторов — выполняют два полуавтомата карусельного типа. В первом полуавтомате *1* (рис. XVIII.12) изготовляется заготовка (ком) массы конусообразной формы, из которой затем в полуавтомате *2* формуется подвесной изолятор. Питание полуавтомата и всей линии в целом выполняют путем ручной загрузки в питатель *3* цилиндров фарфоровой массы, получаемой из вакуум-пресса *4*, снабженного резательным автоматом *5*.

Из полуавтомата *1* в полуавтомат *2* масса автоматически передается манипулятором *6*.

Сформованные изоляторы, выталкиваемые из стальных форм полуавтомата *2*, переставляются рычагом манипулятора *7* в гнезда пульсирующего конвейера *8*.

Раздвижной вильчатый захват манипулятора берет изолятор за узкую его часть (под тарелкой) и при повороте рычага вокруг горизонтальной оси опускает изолятор в гнездо конвейера рифленой поверхностью вниз. В таком положении изоляторы загружают в первичную (подвялочную) конвейерную сушилку, а затем в оправочный полуавтомат, вторую сушилку и глазуровочный полуавтомат. Гнезда пульсирующего конвейера *8* при каждом повороте стола формовочного полуавтомата *2* и рычага манипулятора *7* перемещаются на один шаг. После заполнения семи гнезд пульсирующего конвейера изоляторы захватывают семигнездный переставитель *9* и помещают его на полку *10* конвейерной сушилки *11*. Конвейер сушилки во время загрузки полки должен быть остановлен. Вынужденное пульсирующее движение всего конвейера является недостатком конструкции используемых в данной поточной линии конвейерных сушилок.

После подвяливания изоляторы выгружают из сушилки переставителем *12*, имеющим аналогичное устройство с переставителем *9*, на второй пульсирующий конвейер *13*, питающий непрерывно-действующий оправочный полуавтомат *14* револьверного типа.

Обработанные (оправленные) изоляторы передают на третий пульсирующий конвейер *15*. Изоляторы загружают в оправочный полуавтомат и передают на конвейер *15* манипуляторами *16* и *17*, а далее в конвейерную сушилку *18* семигнездным переставителем *19*. Из су-

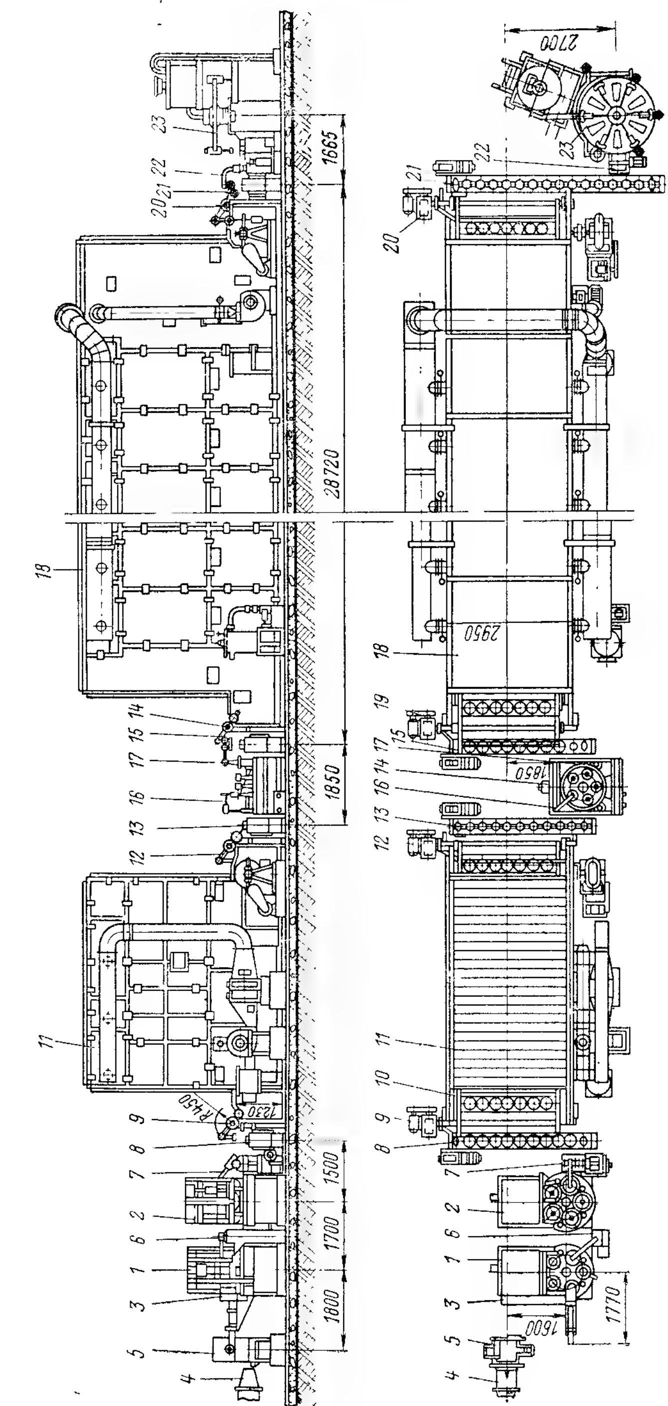


Рис. XVIII.12. Схема автоматической линии для формования подвесных высоковольтных изоляторов

шилки *18* изоляторы выгружаются переставителем *20* на пульсирующий конвейер *21*, а затем манипулятором *22* —к шпиндельным захватам карусельной глазуровочной машины *23*.

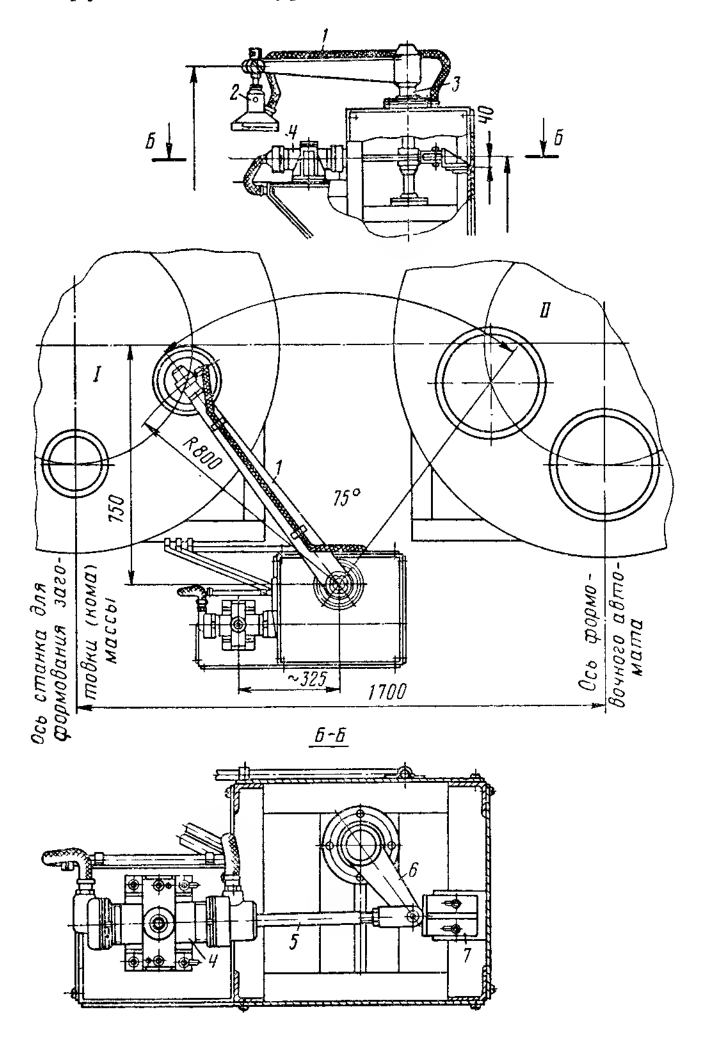


Рис. XVIII.13. Схема переставителя заготовок фарфоровой массы

Вакуумный пресс РУ-35 конструкции, принятой на заводах тонкой керамики, оборудуется двухмундштучной головкой и должен иметь при наличии повышенного сопротивления на выходе производительность около 6 т в час. Конвейерные сушилки типовой конструкции имеют в связи с их периодическим включением пульсирующее движение конвейера, что нельзя признать удачным решением, так как при этом снижается срок службы конвейера.

Специфическая особенность автоматической линии для формования подвесных изоляторов — многократное использование переставителей для передачи полуфабриката изоляторов в процессе обработки из одного оборудования в другое.

Техническая характеристика автоматической линии для формования подвесных изоляторов

Производительность, шт. в час	165
Влажность фарфоровой массы, %	19—20
Давление сжатого воздуха для пневмопривода, Н/м²	40·10⁴
Вакуум в системе вакуум-присосов, %	15
Продолжительность первичной сушки (подвяливания) до влажности 17—18%, ч	2
Продолжительность сушки до влажности 0,5%, ч	12
Габарит установок автоматической линии, мм:	
длина	53 000
ширина	6 230
высота	5 150

Приводим описание изготовленного для этой автоматической линии специального оборудования.

Переставитель заготовок фарфоровой массы (рис. XVIII.13). Этот переставитель, установленный между пятипозиционными вращающимися столами формовочных полуавтоматов, в период их останова поворотом рычага *1* переставляет заготовку фарфоровой массы с выталкивателя первого полуавтомата в стальную форму второго полуавтомата.

Рычаг *1* на конце имеет вакуумный присос *2*, который захватывает формованную заготовку массы в момент ее выталкивания из формы первого полуавтомата и переносит в форму второго полуавтомата. Поворот на 75° рычага *1*, насаженного на вал *3*, выполняется пневматическим цилиндром *4*, шток *5* которого связан с кривошипом *6* вала *3*.

Точность совпадения центра присоса с центрами форм автоматов регулируется установкой ограничителя *7*.

Техническая характеристика переставителя заготовок фарфоровой массы

Время поворота рычага переставителя, с	4
Диаметр пневматического цилиндра, мм	50
Ход штока пневматического цилиндра, мм	180
Тип захвата	Вакуумный
Рабочее давление воздуха, Па (кгс/см²)	$4\cdot10^9$—$6\cdot10^9$ ($4\cdot10^4$—$6\cdot10^4$)

Переставитель изоляторов с формовочного полуавтомата на конвейер (рис. XVIII.14). Заформованный изолятор при перестановке находится на выталкивателе формовочного полуавтомата в положении тарелкой кверху.

Захват *1* в развернутом виде опускается ниже уровня тарелки изолятора и с помощью пневматического цилиндра *2* и двух связанных с его штоком тяг *3* сжимает коническую часть изолятора *4*.

Захват *1* с пневматическим цилиндром на оси *5* связан упругой муфтой *6* с редуктором *7*, обеспечивающим качательные движения переставителя. Редуктор приводится в движение от электродвигателя *8*.

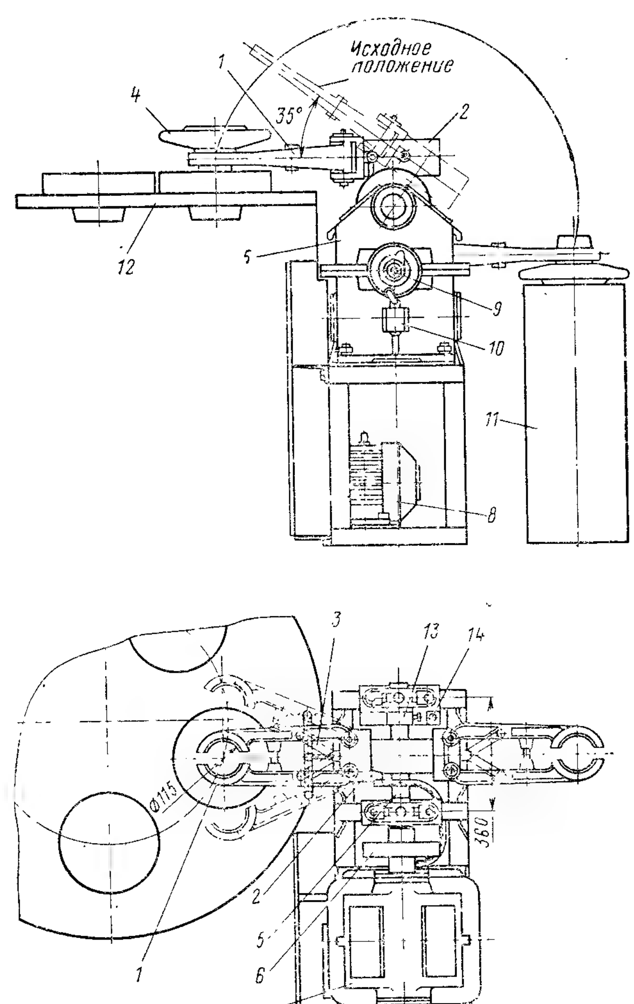


Рис. XVIII.14. Переставитель изоляторов с формовочного автомата на конвейер

На промежуточном валу редуктора насажен кулачок *9*, управляющий с помощью клапана *10* подачей воздуха в пневмоцилиндр *2* синхронно с поворотом переставителя вокруг оси *5*.

Поворотом захвата *1* на 180° изолятор устанавливается в гнездо пульсирующего конвейера *11*, после чего срабатывает клапан, клещи захвата раздвигаются и поворачиваются к формовочному автомату *12*

за следующим изолятором. Для точного горизонтального совмещения захвата с положениями изолятора на формовочном полуавтомате и пульсирующем конвейере на оси *5* насажен кривошип *13*, упирающийся в конце поворота в один из регулируемых болтов-фиксаторов *14*.

Техническая характеристика переставителя изоляторов

Время двойного хода пневмозахвата, с	7,94
Угол поворота захвата, °С	180
Передаточное число червячного редуктора	41
Передаточное число передачи от электродвигателя к редуктору	3
Мощность электродвигателя, кВт	1,0
Частота вращения, $с^{-1}$ (об/мин)	15,5 (930)

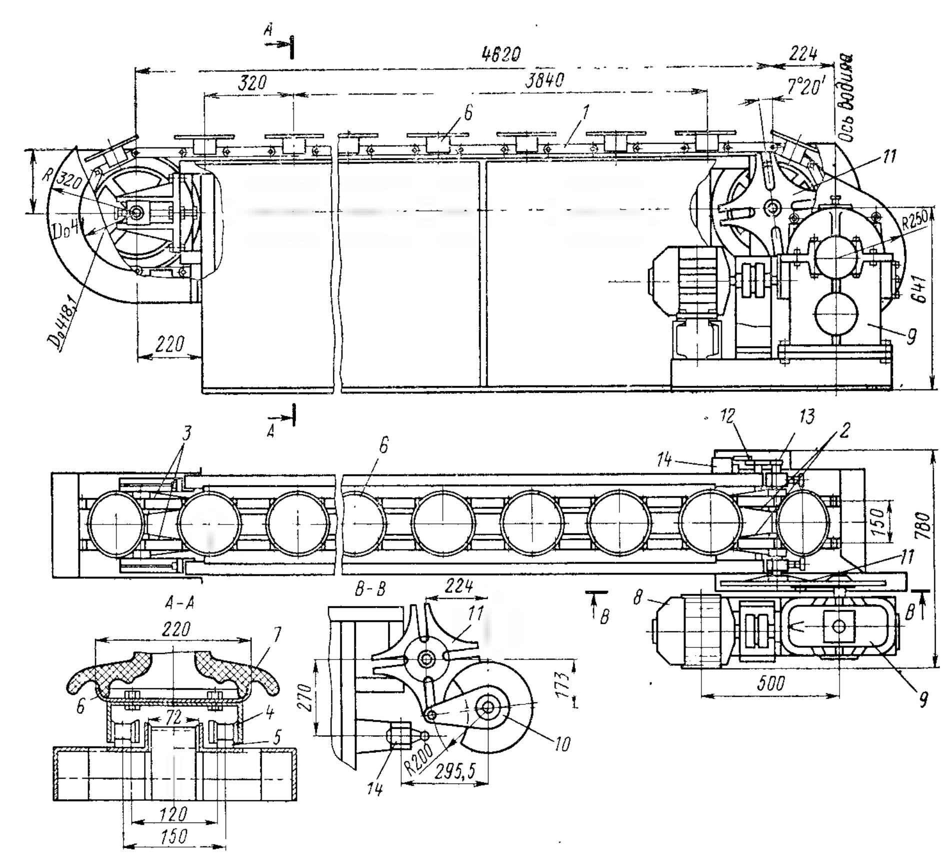


Рис. XVIII.15. Цепной пульсирующий конвейер

Цепной пульсирующий конвейер. Две конвейерные сушилки загружают изоляторами с помощью переставителей, которые сразу захватывают комплект размещаемых на полке изо-

ляторов, постепенно накапливающихся на пульсирующем конвейере. При разгрузке сушилки переставитель снимает с полки одновременно семь изоляторов и укладывает их на второй пульсирующий конвейер, с которого они постепенно поступают на дальнейшую обработку. Всего в линии установлено четыре пульсирующих конвейера и четыре синхронно с ними работающих переставителя аналогичной конструкции.

Конвейер состоит из двух пластинчатых роликовых цепей *1* (рис. XVIII.15), натянутых на ведущих *2* и натяжных *3* звездочках, и перемещающихся своими роликами *4* по направляющим *5*. На звеньях цепи закреплены с шагом 320 мм штампованные тарелки-подставки *6* для укладывания изоляторов *7* переставителями.

Закрепленные на конвейере подставки передвигаются периодически на один шаг с помощью привода, состоящего из электродвигателя *8*, редуктора *9* и мальтийского креста *10* и *11*.

Вал приводных звездочек *2* через зубчатую передачу *12* и *13* связан с концевым выключателем *14*. С помощью этого выключателя синхронизируется работа вала и переставителя.

Техническая характеристика цепного пульсирующего конвейера

Шаг перемещения подставок на одну позицию, мм	320
Время перемещения на одну позицию, с	3,3
Мощность электродвигателя, кВт	1
Частота вращения, $с^{-1}$ (об/мин)	15,5 (930)
Передаточное число червячного редуктора	204
Количество пазов мальтийского креста	4
Радиус водила мальтийского креста, мм	200
Передаточное число механизма включения	1,75
Рабочий ход подвижной системы конечного переключателя, град	12
Габарит, мм:	
длина	3820
ширина	780
высота	912

Примечание. Длина последнего конвейера перед глазуровочной машиной —5420 мм.

Переставитель изоляторов с пульсирующего конвейера в сушилку (рис. XVIII.16) состоит из закрепленных на валу *1* двух кронштейнов *2* и пустотелого вала *3*, на котором подвешены захваты *4* с вакуумными присосами и ограничителями перемещения *5*. Вал *1* с кронштейнами *2* поворачивается на 180°, при этом захваты *4* и ограничители *5* сохраняют отвесное положение, так как насаженная на вал *3* звездочка *6* связана цепью *7* с неподвижной звездочкой *8* и потому, поворачиваясь вокруг нее вместе с кронштейнами, сохраняет вертикальное положение захватов *4*.

Конический захват *4* соединен со штоком *9* с помощью валика *10*, свободно перемещающегося в щелях колпака *11*, и пружины *12*.

В нижней части колпака *11* закреплено резиновое кольцо *13*, которым изолируется полость колпака от атмосферы при его насадке на головку изолятора *14*.

Полость захвата сообщается через шланг *15*, пустотелый вал *3* и шланг *16* с вакуум-системой автоматической линии. При посадке захвата на изолятор последний нажимает на рычажный клапан *17*. Вследствие образовавшегося в полости вакуума изолятор удерживается захватом при его перестановке с позиции конвейера *18* на позицию сушильной полки *19*.

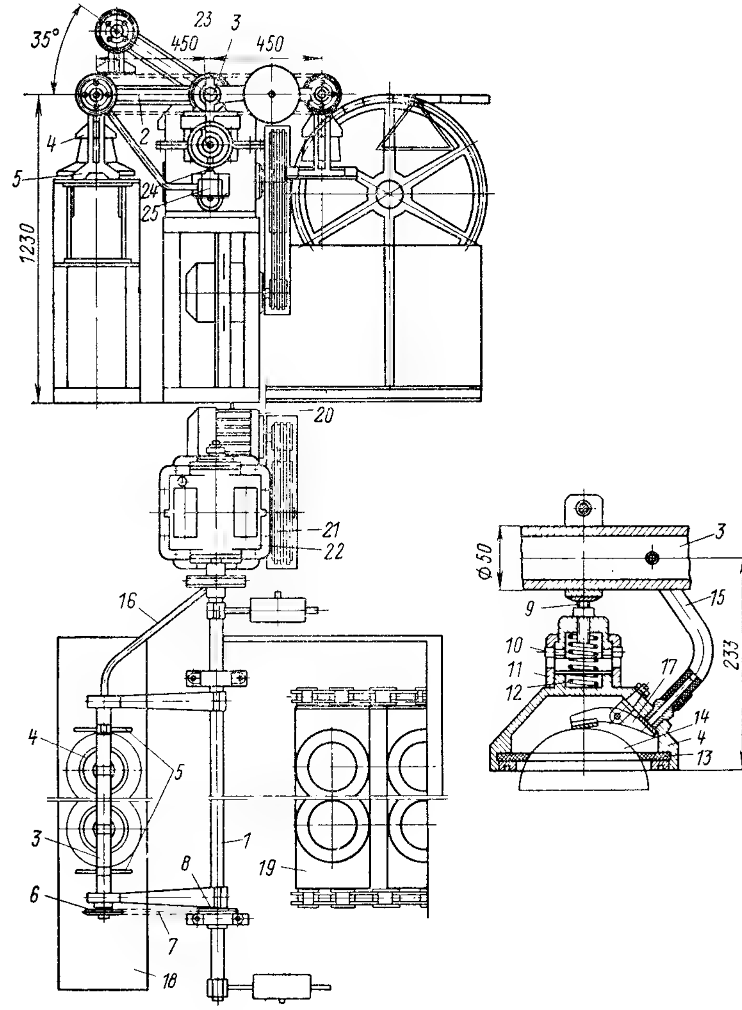


Рис. XVIII.16. Переставитель изоляторов с пульсирующего конвейера в сушилку

Переставитель поворачивается на 180° с помощью электродвигателя *20*, связанного клиноременной передачей *21* со специальным редуктором *22*, в корпусе которого находится механизм колебательного движения рамы переставителя. В конце поворота (изолятор установлен на полке конвейерной сушилки) кулачок *23*, насаженный

на вал редуктора, нажимает на шток *24* клапана *25*, отключает захваты от вакуумной системы и соединяет их полости с атмосферой. Изолятор остается на полке сушилки, а захват переносят на конвейер для съема следующего изолятора.

Переставитель для выгрузки изоляторов из сушилок на пульсирующие конвейеры имеет устройство, аналогичное описанному выше переставителю.

Техническая характеристика переставителей для загрузки изоляторов в сушилку и выгрузки их на пульсирующий конвейер

Продолжительность рабочего цикла, с	10,6
Величина вакуума, %	15
Передаточное число редуктора	41
Передаточное число клиноременной передачи	4
Мощность электродвигателя, кВт	1
Частота вращения электродвигателя, $с^{-1}$ (об/мин)	15,5 (930)

При наладке автоматической линии для изготовления изоляторов ПМ-4,5 была установлена работоспособность ее в целом. Формование изоляторов в стальных телескопических формах, покрытых полиэтиленом, из массы пониженной влажности (19—20%) практически проверено и обеспечило повышение технических характеристик подвесных изоляторов. Повторное уплотнение массы штемпелем при формовании заготовки, а затем уплотнение самого изолятора являются эффективными. Применение полиэтиленового покрытия элементов раздвижной формы облегчает отделение ее от поверхности изолятора.

В период наладки автоматической линии ГИЭКИ были внесены некоторые конструктивные изменения в отдельные машины. Вакуумный захват переставителя между комовым и формовочным полуавтоматами заменен пневматическим клещевым, а непрерывные пульверизаторы для смазки формы керосином — форсунками с программным кулачковым управлением. Семигнездные переставители и манипуляторы снабжены пневматическими захватами с раздвижными лапами вместо вакуумных захватов. Стальные гуммированные вращающиеся подставки у оправочного станка заменены гипсовыми для обеспечения достаточного фрикционного сцепления их с обрабатываемыми изоляторами.

Глазуровочная машина автоматической линии потребовала конструктивных изменений для обеспечения надежности работы консольных вакуумных захватов, так как при срыве изолятора в вакуумную систему неизбежно засасывалась бы глазурь.

8. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЛАЗУРОВАННЫХ ФАЯНСОВЫХ ПЛИТОК

Поточная автоматическая линия, разработанная на основе исследований НИИстройкерамики и проектно-конструкторского бюро этого института, внедрена на нескольких заводах. В процессе наладки линии в производственных условиях и в результате дополнительных исследований в конструкции и режимы работы отдельных агрегатов были внесены изменения для обеспечения бесперебойной эксплуатации и повышения качества продукции. Линия состоит из башенной распылительной сушилки для получения пресс-порошка, коленно-рычажных прессов, ленточной радиационно-конвективной сушилки, глазуровочной установки и одноканальных роликовых конвейерных газовых печей для первого и второго обжига. Все агрегаты соединены транспортерами с группирователями плиток в несколько рядов в соответствии с шириной конвейерных последующих установок. Применение распылительных сушилок для приготовления порошкообразной массы вместо камерных фильтр-прессов, сушилок и дезинтеграторов позволило упростить технологию этого процесса и снизить его трудоемкость *.

Описание работы и технические характеристики распылительных сушилок приведены в гл. VI.

Прессовочный порошок подается в бункер коленно-рычажного пресса КПКп-125, спаренного с приспособлением для удаления заусениц с кромок прессованных плиток. Далее два потока плиток распределительным приспособлением разделяются на четыре потока и подаются транспортером в конвейерную сушилку, обогреваемую инжекционными газовыми горелками, размещенными под цепным конвейером сушилки. Из сушилки плитки передаются на роликовый приводной конвейер в печь первого обжига, а затем очищаются от пыли сжатым воздухом (обдувка) и поступают в автоматическую глазуровочную машину.

В НИИстройкерамике и в заводских условиях были испытаны машины разных типов для глазурования плиток методом пульверизации. Как показали длительные испытания, глазурь, нанесенная методом пульверизации, в условиях сверхскоростного обжига при горизонтальном положении плиток не дает хорошего розлива на их поверхности и гладкого безупречного покрытия.

Проведены работы по испытанию и освоению машин для обливания (полива) непрерывного потока плиток широкой струей глазури. Глазурованные плитки подаются во вторую одноканальную печь, оборудованную роликовым конвейером.

В зависимости от температуры в зонах подогрева, обжига и охлаждения используются ролики из сплавов различной жаропрочности. Долговечные и недорогие керамические ролики еще не получили применения в печах НИИстройкерамики, так как незначительное количество глазури, осыпающейся с торцов плиток на ролики, образует кольцевые утолщения, отклоняющие плитки от прямолинейного перемещения в печи.

В роликовых печах фирмы «Сити» плитки перемещаются на легких кардиеритовых поддонах, вследствие чего исключается возможность попадания глазури на ролики и таким образом продолжительность службы керамических роликов при температуре обжига

* Поточная линия описана на основе материалов НИИстройкерамики и Всесоюзного научно-исследовательского института экономики строительных материалов (ВНИИЭСМ).

1100—1250° C в несколько раз превышает срок эксплуатации роликов из жаропрочных сплавов. Вместе с тем обжиг непосредственно на роликах освобождает от пока еще неавтоматизированной операции по укладыванию плиток на поддоны.

Техническая характеристика основных агрегатов автоматической линии для производства глазурованных фаянсовых плиток

Размер глазурованных фаянсовых плиток, мм	150×150×5
Режим работы	Непрерывный
Температура, °С:	
сушки (максимальная)	240
утильного обжига	1100
политого обжига	1020
Расход природного газа, м³/ч:	
на сушку	10,5
на утильный обжиг	51,5
на политой обжиг	58,0
Установленная мощность электродвигателей, кВт:	
у вентиляционных устройств	21,6
у механизмов	70,6
Общий расход воздуха из цеха (на сушку, обжиг и охлаждение плиток, на вентиляцию у печей), м³/ч	17 000
Расход воздуха на обдувку плиток, м³/ч	28 000
Общие тепловыделения в цех, кДж/ч(ккал/ч)	500 000 (125 000)
Скорость конвейера, м/мин:	
в сушилке и утильной печи	1,6
в политой печи	1,9
Длина, м:	
сушилки	12,0
утильной печи	30,0
обдувочного устройства	6,0
политой печи	49,5
Количество плиток по ширине конвейера, шт.	6
Ширина, мм:	
канала сушилки и утильной печи	1150
политой печи	1300
Размеры роликов сушильного и печных конвейеров, мм:	
диаметр	32
длина в сушилке и утильной печи	2180
в политой печи	2330
Количество роликов в сушилке и утильной печи, шт.:	
из жаропрочного сплава Х25Т	320
из сплава ОХ23Н18	80
» » ХН78Т	150
Количество роликов в политой печи, шт.:	
из сплава Х25Т	360
» » ОХ23Н18	280
Количество газовых инжекционных горелок в сушилке и печах, шт.:	
диаметром 21/1,3 мм	22
» 24/1,5 мм	50
» 28/1,7 мм	31
Габарит конвейерной линии, мм:	
длина	86 000
ширина	2 500
высота	3 200
Масса, т	2 000

Дальнейшее усовершенствование автоматизированных линий для производства глазурованных фаянсовых плиток применительно к разным составам керамических масс и глазурей позволит установить оптимальные режимы обжига, повышающие качество продукции, и улучшить технико-экономические показатели работы этих линий.

ГЛАВА XIX

ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА ХОЗЯЙСТВЕННОГО ФАРФОРА И ФАЯНСА

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА

В новых условиях планирования и экономического стимулирования производства промышленным предприятиям утверждаются вышестоящей организацией следующие показатели:

1) объем реализуемой продукции;
2) производство важнейших видов продукции в натуральном выражении;
3) сортность выпускаемой продукции;
4) производительность труда;
5) общий фонд заработной платы;
6) балансовая прибыль (общая и расчетная);
7) рентабельность (общая и расчетная);
8) ассигнования из бюджета;
9) платежи в бюджет;
10) общий объем централизованных капитальных вложений (в том числе строительно-монтажных работ);
11) ввод в действие за счет централизованных капитальных вложений основных фондов и производственных мощностей;
12) задания по внедрению новой техники и технологии, имеющие особо важное значение для развития отрасли.

К числу важнейших для предприятия (не утверждаемых вышестоящей организацией) расчетных показателей относятся себестоимость, фондоотдача, нормативы оборотных средств, средняя заработная плата, групповой и развернутый ассортимент хозяйственной посуды и других фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий бытового назначения, а также численность работающих, формы и размеры материального поощрения, некоторые показатели финансовой деятельности.

Обоснование плана производства необходимо начинать расчетом максимально возможного выпуска продукции с действующих мощностей основного оборудования, исходя из их наличия на начало отчетного года и ожидаемых изменений в течение года. Определяют производственную мощность на начало планируемого года и затем прирост действующих и необходимый ввод новых мощностей для обеспечения заданий по производству продукции.

Показатели техпромфинплана. Техпромфинплан — развернутая программа всей производственно-хозяйственной деятельности предприятия. В условиях хозяйственной реформы разработка техпромфинплана — средство формирования коллективом предприятия оптимальной программы своей деятельности на планируемый год.

При разработке техпромфинплана следует:

а) всесторонне проанализировать производственно-хозяйственную деятельность предприятия в текущем году, уделив особое внимание использованию производственных мощностей, организации производства и труда, потерям в производстве от технологических отходов, брака и боя изделий;

б) сравнить качество выпускаемых изделий с качеством аналогичных изделий других предприятий отрасли, разработать мероприятия по улучшению качества и внешнего вида продукции;

в) определить прогрессивные технико-экономические нормативы использования оборудования, затрат рабочего времени, нормы расхода сырья, материалов, топлива, энергии и потерь от технологических отходов, брака и боя изделий в производстве;

г) разработать мероприятия по повышению эффективности производства, в том числе по внедрению новой техники, механизации и автоматизации процессов, научной организации труда (НОТ), совершенствованию технологии, систем управления и организации производства, используя прогрессивные показатели деятельности однородных предприятий.

Типовой техпромфинплан фарфорового (фаянсового) завода состоит из следующих разделов:

1) основные показатели (сводная таблица);
2) план производства и реализации продукции;
3) план повышения эффективности производства;
4) плановые технико-экономические нормативы и нормы;
5) план капитального строительства;
6) план материально-технического снабжения;
7) план по труду и заработной плате;
8) план по прибыли, издержкам производства и рентабельности;
9) план по фондам экономического стимулирования;
10) финансовый план.

В фарфоро-фаянсовой промышленности действует разработанная ГИКИ «Методика разработки техпромфинплана на предприятиях фарфоро-фаянсовой промышленности, переведенных на новую систему планирования и экономического стимулирования».

В техпромфинплан включены как единые типовые формы (по методике междуведомственной комиссии при Госплане СССР), так и дополнительные (расчетные) по основным разделам, отражающие специфические особенности фарфоро-фаянсовой помышленности.

В соответствии с решениями сентябрьского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС предприятиям утверждают план производства только по важнейшим видам продукции.

В условиях хозяйственной реформы в техпромфинплан введен раздел «План повышения эффективности производства». В этот

план наряду с техническими и организационными мероприятиями включены планово-экономические, научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы.

Исходными материалами и документами для составления техпромфинплана являются:

пятилетний план развития предприятия;

контрольные цифры и задания министерств легкой промышленности союзных республик;

основные направления развития науки, новой техники и технологии;

сведения о спросе потребителей и договора на поставку продукции и оказание услуг;

результаты законченных научно-исследовательских работ заводских лабораторий и отраслевых институтов;

патенты, авторские свидетельства, данные научно-технической информации, рационализаторские предложения, рекомендации научно-технических конференций и общественных организаций;

данные анализа результатов выполнения плана повышения эффективности производства в предшествующем году.

В этом разделе следует указать мероприятия по улучшению качества продукции, сокращению технологических отходов, боя и брака фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий в производстве.

Важное организующее начало в повышении качества продукции — государственная аттестация качества продукции. В декабре 1970 г. Госплан СССР и Госстандарт СССР утвердили «Общие методические указания по планированию повышения качества промышленной продукции». Они должны быть учтены при составлении этого раздела техпромфинплана.

При разработке мероприятий по сокращению технологических отходов, боя и брака изделий в производстве следует учитывать опыт работы передовых предприятий отрасли, а также достижения отдельных рабочих и бригад своего предприятия.

В плане повышения эффективности производства предусматривают также мероприятия по совершенствованию технологических процессов, механизации и автоматизации производства, модернизации оборудования, совершенствованию организации управления, производства и планирования, внедрению НОТ и др.

Резервы роста объема производства. В фарфоро-фаянсовой промышленности увеличение объема выпуска изделий и улучшение других технико-экономических показателей достигаются при использовании имеющихся резервов производства. Важнейшие из них:

сокращение технологических отходов производства в процессе обжига до минимальных размеров;

доведение длительности рабочего цикла обжига изделий до уровня, достигнутого на передовых заводах;

сокращение времени производства капитального ремонта тепловых агрегатов за счет более рациональной организации работ и применения высококачественных материалов;

дальнейшая механизация и автоматизация производственных процессов на участках обжига (конвейерные печи с поточными линиями), формования (полуавтоматы и формовочно-сушильные автоматы), сортировки и декорирования (поточные линии), транспортных операций (конвейеры разных типов) и др.;

повышение удельного веса продукции I сорта благодаря использованию опыта работы передовых предприятий отрасли, а также отдельных рабочих и бригад.

Система показателей и технико-экономическое обоснование плана предприятия. В планировании фарфоро-фаянсового производства применяют следующие основные виды технико-экономических нормативов и норм:

1) нормативы по труду — нормы времени на операции или на совокупность работ по изготовлению единицы продукции, или на выполнение единицы работы (или нормы выработки определенных изделий в час, смену);

2) нормы использования предметов труда — нормы расхода сырья, материалов, топлива, энергии и других материальных ресурсов на единицу готовой продукции;

3) нормы использования средств труда; к ним относят количество вагонеток в туннельной печи, объем садки полуфабриката на вагонетке, коэффициент использования объема садки, число вагонеток, выходящих из печи в сутки, коэффициент выхода годной продукции из печи и др.;

4) нормативы технологических процессов — длительность сушки полуфабриката, цикла первого и второго обжига и т. д.;

5) нормы качества продукции — удельный вес выхода I, II и III сортов, а также изделий со Знаком качества;

6) нормативы планируемых технологических потерь и отходов, боя фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий в производстве.

Нормативы и нормы использования средств труда разрабатывают в соответствии с действующими отраслевыми методическими указаниями.

Нормативы организации производственного процесса должны учитывать действующие отраслевые и рабочие инструкции по производству фарфоровой и фаянсовой посуды, разработанные ГИКИ.

2. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Производственную мощность завода рассчитывают согласно инструкции по определению производственных мощностей фарфоро-фаянсовых заводов, производящих изделия культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода из фарфора, полуфарфора, фаянса и майолики [1].

В соответствии с указанной инструкцией, разработанной ГИКИ, производственную мощность фарфорового (фаянсового) завода в целом устанавливают по мощности основных печных агрегатов, используемых для второго (политого) обжига продукции.

Наряду с этим необходимо рассчитывать мощности остальных производственных и важнейших вспомогательных цехов для определения возможных несоответствий между ними и мощностью печей и своевременной разработки мероприятий по устранению такого несоответствия.

Расчет производственной мощности производят на основе прогрессивных технических норм производительности оборудования с применением передовой технологии и наиболее совершенной организации труда с учетом ликвидации «узких мест» в расчетном периоде путем внедрения в производство организационно-технических мероприятий и опыта работы передовых заводов.

Мощность заводов определяют в условных единицах.

Мощность фарфорового (фаянсового, майоликового) завода определяют применительно к работе печей в условиях непрерывного процесса производства.

Для реконструируемых и вновь построенных предприятий за наличную мощность принимают проектную.

Производственную мощность определяют из расчета использования всех имеющихся в цехах печей и оборудования (действующих и неработающих вследствие неисправности, ремонта или модернизации).

При расчете производственной мощности предприятия возможные «узкие места» учитывают для разработки плана мероприятий по их устранению.

Величина производственной мощности завода, рассчитанная на определенный период, не является постоянной, а изменяется в соответствии с внедрением в производство новой техники, модернизацией и заменой действующего оборудования более производительным, совершенствованием технологии и организации труда и другими мероприятиями, повышающими мощность завода.

Мощность завода рассчитывают на основе следующих исходных данных:

количества имеющихся в наличии печей и оборудования с учетом изменений в течение года (ввод, выбытие);

показателей производственных площадей с учетом изменений в течение года (при наличии «узких мест»);

фактического фонда времени работы печей и оборудования;

передовых технически обоснованных норм производительности печей и оборудования с учетом ежегодно утверждаемых вышестоящей организацией прогрессивных показателей (коэффициентов) использования объема садки печей и выхода готовой продукции, а также наиболее эффективной длительности полного рабочего цикла обжига изделий.

Исходные данные о печах, оборудовании и производственных площадях необходимо брать из производственно-технического паспорта завода.

При расчете производственной мощности следует различать календарный, номинальный и действительный фонд времени работы оборудования.

Календарный фонд времени равен количеству календарных дней в расчетном периоде, умноженному на 24 ч.

Номинальный годовой фонд времени при непрерывном процессе производства (в фарфоро-фаянсовой промышленности) определяют исходя из общего количества календарных дней в году и 24 ч работы в сутки.

Производственную мощность рассчитывают по фактическому фонду времени работы печей и оборудования, который равен номинальному за вычетом из него времени, утвержденного вышестоящей организацией на капитальный (специальный) ремонт.

Методика определения производственной мощности предприятия. Производственную мощность завода определяют в тысячах единиц условной (и натуральной) продукции по производительности печей второго (политого) обжига.

Если на фаянсовом заводе лимитируют печи первого обжига, то дополнительно рассчитывают производительность этих печей по формулам:

а) для туннельных печей

$$Q_{т.\,п} = \frac{А_в У_{т.\,п} К Ф_г К_{в.\,п}}{У_н Т_{т.\,п}};$$

б) для камерных печей (горнов периодического действия)

$$Q_{к.\,п} = \frac{У_{к.\,п} К Ф_г К_{в.\,п}}{У_н Т_{к.\,п}},$$

где $Q_{т.\,п}$ и $Q_{к.\,п}$ — годовая производительность соответственно туннельной и камерной печей, тыс. ед. условной (или натуральной) продукции;

$У_{т.\,п}$ — объем садки печной вагонетки, м^3;

$У_{к.\,п}$ — объем печной камеры для политого обжига изделий, м^3;

$А_в$ — количество вагонеток в туннельной печи;

$У_н$ — капсельный объем, занимаемый 1000 единиц условной (или натуральной) продукции;

$К$ — коэффициент использования объема садки;

$Ф_г$ — годовой фонд рабочего времени туннельной (камерной) печи, ч;

$К_{в.\,п}$ — коэффициент выхода готовой продукции, учитывающий неизбежные технологические отходы при политом обжиге и последующей обработке изделий до сдачи на склад;

$Т_{т.\,п}$ — длительность полного цикла термообработки изделий в туннельной печи, ч;

$Т_{к.\,п}$ — длительность полного рабочего цикла камерной печи (горна), ч.

Данные расчетов производственной мощности завода сводят в таблицу, форма которой приведена ниже.

Примерный расчет производственной мощности фарфорового завода (цифры условные)

Показатель	Туннельная печь № 1	Туннельная печь № 2
Размеры печей, м:		
длина	93,5	93,5
ширина канала	1,5	1,5
Способ обжига изделий:		
плоских	В капселях	В капселях
полых	На этажерках	На этажерках
Планируемые простои, суток:		
специальный ремонт	40	—
текущий »	—	—
Годовой фонд времени работы, суток	325	365
То же, часов	7800	8760
Длительность рабочего цикла, ч	33,3	33,3
Количество вагонеток в канале печи	50	50
Объем садки вагонеток, м^3	2,5	2,5
Годовой печной объем (объем садки), м^3	29 303	32 883
Коэффициент использования печного объема (объема садки)	0,66	0,66
Годовой капсельный объем, м^3 $\left(\frac{7800\cdot 50}{33,3} 2,5\right)$	19 274	21 703
Капсельный объем 1000 единиц, м^3:		
условной продукции	2,21	2,21
продукции в заданном ассортименте	2,95	2,95
Коэффициент выхода готовой продукции	0,9	0,9
Производственная мощность печей, тыс. шт.		
в условных единицах $\left(\frac{19\,274}{2,21}\,0,9\right)$	7849	8938
в натуральных единицах заданного ассортимента $\left(\frac{19\,274}{2,95}\,0,9\right)$	5882	6620

Объем садки, приходящийся на одну вагонетку туннельной печи ($У_{т.\,п}$), исчисляют по формуле

$$У_{г.\,п} = abn,$$

где a — полная длина садки по проекту печи, м;

b — полная ширина садки по проекту печи, м;

n — полная высота садки по проекту печи (для упрощения расчетов среднюю высоту свода следует принимать в размере $^2/_3$ его высоты от пяты до замка).

3. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Планирование производительности труда позволяет установить уровень, темпы и факторы ее роста, а также соотношение между темпами роста производительности труда и заработной платы.

В настоящее время показатель производительности труда является директивным.

Рост производительности труда — главный фактор повышения эффективности общественного производства — определяется следующими факторами: материально-техническими, зависящими от качества, уровня развития и степени использования средств производства (в первую очередь орудий труда), и социально-экономическими, на которые влияют состав рабочих кадров, их квалификация, характер и уровень организации труда, отношение к труду.

Среди материально-технических факторов увеличения производительности труда первое место принадлежит технической вооруженности труда.

Важными показателями технического прогресса является рост основных производственных фондов и технической вооруженности труда, измеряемый объемом основных производственных фондов, приходящихся на одного работника.

На производительность труда влияет также и энерговооруженность труда, измеряемая количеством электроэнергии, приходящейся на один отработанный человеко-час.

Важнейшим направлением технического прогресса является механизация и автоматизация производства. Степень механизации (автоматизации) определяется уровнем механизации (автоматизации) работ и труда и степенью охвата рабочих механизированным (автоматизированным) трудом.

Большое значение для увеличения производительности труда имеет максимальное использование действующих мощностей, в частности тепловых агрегатов в фарфоро-фаянсовой промышленности.

Их использование может улучшаться в двух направлениях — интенсивном (повышение производительности оборудования в единицу времени) и экстенсивном (увеличение времени работы оборудования).

Одним из показателей технического прогресса является совершенствование технологии изготовления изделий.

Другая группа факторов — социально-экономические — обусловлена новой системой производственных отношений, в основе которых лежит общественная собственность на средства производства. Важнейшей формой проявления творческой инициативы и активности трудящихся является социалистическое соревнование.

В повышении производительности труда решающее значение имеет материальная заинтересованность работников в результате своего труда. В связи с этим важную роль играют упорядочение заработной платы, устранение недостатков в ее организации и улучшение нормирования труда.

Повышение культурного уровня и производственной квалификации работников также влияет на рост производительности труда.

Разработка плана по производительности труда требует активного участия всего коллектива предприятия.

В девятой пятилетке на действующих заводах весь прирост выпуска фарфора и фаянса обеспечивается за счет увеличения производительности труда.

Согласно методическим указаниям к составлению государственного плана развития народного хозяйства СССР (1969 г.) показателем производительности труда является годовая выработка товарной продукции в оптовых ценах, принятых на 1 июля 1967 г. на одного среднесписочного работника промышленно-производственного персонала.

В настоящее время задание по увеличению производительности труда доводится предприятиям в виде темпов роста к предыдущему периоду.

Однако при ценностном методе расчетов может быть искусственно завышен (или занижен) этот важнейший экономический показатель в зависимости от изменения ассортимента и декорирования изделий.

В связи с этим было бы целесообразно производительность труда исчислять в условно-трудовых единицах.

Во всех звеньях плановой системы — от предприятий до Госплана СССР — применяют следующую единую классификацию факторов роста производительности труда:

1) повышение технического уровня производства;
2) улучшение организации производства и труда;
3) изменение объема и структуры производства продукции;
4) изменение природных условий и способов добычи полезных ископаемых;
5) отраслевые и прочие факторы.

Влияние сокращения потерь рабочего времени, вызываемых сверхнормативными технологическими отходами и боем, а также браком, определяют в процентах от исходной численности работников, уменьшенной в результате сокращения невыходов и простоев.

В фарфоро-фаянсовой промышленности в девятой пятилетке предусмотрены следующие факторы повышения производительности труда: увеличение коэффициента использования туннельных печей и печей периодического действия (горнов), организация специализированных цехов по изготовлению карборундового огнеприпаса (капсели, плиты), выпуск пластмассовых (вместо гипсовых) форм с увеличением срока их службы (оборачиваемости), повышение сортности фарфоровых и фаянсовых изделий, особенно за счет изделий I сорта, снижение количества рабочих путем увеличения уровня механизации вспомогательных ручных работ, сокращение отходов, боя и брака изделий в производстве и др.

Важным резервом роста производительности труда является также упорядочение технического нормирования и, в частности, внедрение типовых норм времени на всех технологических операциях. Эти типовые нормы времени, как правило, основаны на использовании передовой техники, технологии и прогрессивной организации труда. Внедрение научно обоснованных норм выработки способствует значительному упрощению трудоемких работ по техническому нормированию в отрасли, где действуют несколько тысяч норм выработки.

4. ОСНОВНЫЕ ФОРМЫ И СИСТЕМЫ ОПЛАТЫ ТРУДА

Повышение производительности труда, как одна из коренных социально-экономических задач, находится в тесной связи с совершенствованием систем оплаты труда и повышением эффективности этих систем.

В фарфоро-фаянсовой промышленности применяют в основном сдельно-премиальную систему оплаты труда рабочих. Размеры премий рабочим-сдельщикам установлены в типовом положении, исходя из степени влияния отдельных групп и профессий рабочих на увеличение выпуска фарфора и фаянса в следующих размерах к сдельной заработной плате: по ведущим профессиям рабочих-сдельщиков за выполнение месячного плана — до 20% и за каждый процент перевыполнения плана — дополнительно до 1,5%, по остальным профессиям рабочих-сдельщиков (неведущих профессий) — соответственно до 10% и до 1% их сдельной заработной платы.

Любая система оплаты труда требует своего дальнейшего совершенствования для повышения эффективности от ее применения.

Каждая система оплаты труда (сдельно-, повременно- и аккордно-премиальная) должна быть экономически обоснована. Для этого составляют так называемый баланс эффективности систем оплаты труда.

В доходной части баланса учитывают рост прибыли от повышения качества продукции, экономии сырья и материалов, сокращение потерь от брака, боя и отходов, т. е. все доходы в денежном выражении. Расходная часть — это сумма выплаченных премий, дополнительная оплата за отпуска, отчисления с премий на социальное страхование, а также подоходный налог. Только при условии превышения доходной части над расходной целесообразно вводить ту или иную систему оплаты труда.

5. СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОДУКЦИИ

Экономическая реформа в промышленности внесла существенные изменения и в условия хозяйственной деятельности фарфоровых и фаянсовых предприятий, перешедших в 1968 г. на новую систему планирования и экономического стимулирования.

Выполнение плановой номенклатуры продукции и требований к ее потребительским свойствам, прибыль и рентабельность стали важнейшими показателями деятельности предприятий. Значительно расширились их возможности в образовании и использовании поощрительных фондов.

Основной путь увеличения прибыли — снижение себестоимости продукции при одновременном улучшении ее качества.

Себестоимость продукции снижается в основном за счет следующих факторов: изменения объема и структуры производства, улучшения организации производства, повышения технического уровня производства и производительности труда, сокращения затрат на потребляемые сырье, материалы и топливо, снижения потерь в производстве.

Затраты на производство планируют и учитывают на предприятиях как по экономическим элементам (смете затрат на производстве), так и по статьям (калькуляции).

Содержание элементов затрат в фарфоро-фаянсовой отрасли не отличается от принятых для предприятий других отраслей промышленности.

Смету затрат используют для расчета нормативов оборотных средств и составления баланса доходов и расходов, а также для определения общего объема затрат на валовую продукцию.

Затраты на производство товарной продукции подсчитывают из объема затрат на валовую продукцию и с учетом изменений остатков полуфабриката собственной выработки и незавершенного производства, включаемых в валовую продукцию. В смету затрат на производство не включают заводской оборот.

Важное значение в планировании себестоимости имеют плановые, нормативные и отчетные калькуляции. Плановые калькуляции включают в себя задание по снижению себестоимости изделий. Нормативные калькуляции (в отличие от плановых) составляют исходя не из средних, а из действующих прогрессивных на начало месяца (квартала) норм, нормативов и цен на сырье, материалы и топливо, а также с учетом расходов по управлению производством. Они необходимы для оперативного планирования работы цехов и участков и организации нормативного учета. Отчетные калькуляции показывают фактические затраты на производство и реализацию единицы продукции.

Полная себестоимость продукции в фарфоро-фаянсовой промышленности включает типовые калькуляционные статьи расходов.

В состав отдельных статей входят следующие затраты:

в статью «Сырье и основные материалы» — на каолин, глину, пегматит, песок, бентонит, полевой шпат, фарфоровое сушье, бой изделий (политой и утильный), препарат золота, керамические краски и декалькоманию;

в статью «Вспомогательные материалы» — на фильтровальные и технические ткани, мелющие тела, поролон, кисти, глинозем и карбид кремния, веретенное и скипидарное масло и др.;

в статью «Топливо на технологические цели» и «Энергия всех видов на технологические цели» — на топливо и энергию, необходимые для сушки и обжига полуфабриката, декоративного обжига изделий, для получения двигательной энергии, пара и т. д.;

в статью «Износ спецприспособлений» — на производство капов, гипсовых или поливинилхлоридных форм, а также капселей, плит, гребенок и других видов технологической оснастки;

в статью «Потери от брака» — стоимость окончательно забракованных изделий, а также боя и сверхнормативные потери от технологических отходов (по отчетным данным) в процессе производства.

Технологические (утильные и политые) отходы в пределах установленных норм предусматриваются в соответствующих нормах расхода и материалов, топлива и энергии, заработной платы и т. д., включая цеховые расходы.

Содержание остальных статей — основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих, отчисления на социальное страхование, расходы на содержание и эксплуатацию оборудования, цеховые, общезаводские и внепроизводственные расходы ничем не отличаются от содержания типовых статей в других отраслях промышленности.

Планирование себестоимости продукции осуществляется при разработке перспективных (пятилетних) и текущих (годовых) планов (техпромфинпланов) промышленных предприятий. Годовые планы по себестоимости продукции составляют обычно с подразделением их по кварталам, а при необходимости — по месяцам.

Плановую себестоимость продукции определяют путем технико-экономических расчетов величины затрат на производство всей продукции (товарной и реализуемой) и каждого вида изделий. Для характеристики себестоимости разнородных фарфоровых и фаянсовых изделий в планах и отчетах предприятий используют показатели снижения себестоимости сравнимой товарной продукции и затрат на 1 руб. товарной (реализуемой) продукции.

Применение показателя затрат на 1 руб. товарной продукции целесообразно в планах министерств и ведомств и особенно в перспективных планах. Однако он несовершенен при составлении текущих планов предприятий и отчетов об их выполнении, так как затраты на 1 руб. товарной продукции не отражают действительного изменения себестоимости, поскольку их величина зависит от уровня оптовых цен, изменения объема и ассортимента продукции (в том числе декорирования посуды). В связи с этим целесообразно задание по снижению себестоимости на предприятиях определить по сравнимой продукции.

Снижение себестоимости сравнимой товарной продукции представляет собой выраженную в процентах экономию от ее снижения, отнесенную к себестоимости соответствующих видов продукции в базисном году. Для этого планируемый объем производства каждого вида сравнимой товарной продукции умножают на среднегодовую себестоимость базисного года и плановую себестоимость планируемого года.

Разность между первым и вторым произведением, представляющая собой экономию от снижения себестоимости сравнимой продукции, отнесенная к первому из них и выраженная в процентах, является величиной планового снижения себестоимости сравнимой товарной продукции.

Таким же образом определяют величину фактического снижения себестоимости сравнимой товарной продукции.

Затраты на 1 руб. товарной продукции исчисляют путем деления себестоимости товарной продукции на ее объем, исчисленный в оптовых ценах предприятий.

Планированию себестоимости продукции должен предшествовать тщательный и всесторонний анализ сложившегося уровня затрат, в ходе которого выявляется влияние на себестоимость продукции основных технико-экономических факторов в базисном периоде.

Плановую себестоимость продукции необходимо рассчитывать в соответствии с показателями других разделов плана предприятия: по объему товарной и реализуемой продукции, внедрению новой и совершенствованию применяемой техники и технологии, улучшению организации производства, повышению производительности труда, сокращению брака и боя изделий в производстве и др.

При разработке калькуляции на производство фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий расходы целесообразно распределять следующим образом:

стоимость фарфоровой (фаянсовой, майоликовой) массы, шликера и фритты — пропорционально массе изделия;

стоимость глазури — пропорционально площади (или объему) изделия;

затраты на топливо и энергию, необходимые для технологических целей в формовочном цехе — пропорционально массе изделия; в туннельном (печном) — капсельному или этажерочному объему; в живописном (декорированный обжиг) — капсельному объему;

расход основной заработной платы производственных рабочих — в соответствии с действующими нормами и расценками (по плану) и фактическим расходом (по отчету) на каждое изделие;

расходы по содержанию и эксплуатации оборудования — способами, обеспечивающими наиболее точное исчисление их себестоимости. В практике работы фарфоро-фаянсовых предприятий эти расходы распределяются пока пропорционально основной заработной плате производственных рабочих, что не соответствует действительному соотношению этих статей расходов. С увеличением степени механизации и автоматизации расходы по содержанию и эксплуатации оборудования увеличиваются, а основная заработная плата снижается, т. е. существует обратно пропорциональная зависимость;

расходы по износу специальных приспособлений и инструментов (капов, форм, капселей, плит и др.) — с учетом норм их службы и пропорционально капсельному или этажерочному объему изделий;

цеховые и общезаводские расходы — пропорционально основной заработной плате производственных рабочих;

потери от брака — по плану согласно нормам брака и боя изделий, в отчете — по фактическому браку и бою изделий, а также с учетом сверхнормативных и технологических отходов;

внепроизводственные расходы — пропорционально себестоимости изделий без учета декорирования.

Отраслевая инструкция предусматривает и другие методы распределения расходов на производство.

Поштучную калькуляцию всей продукции разрабатывают один раз в году, при этом стоимость декорирования определяют в соответствии с действующими нормами по труду и расходу препарата золота, красок, деколей и других затрат [2].

6. ПРИБЫЛЬ И РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ

Разность между суммой, полученной от реализации продукции по действующим оптовым ценам предприятий, и полной себестоимостью этой продукции составляет прибыль.

Сопоставлением величины прибыли и стоимости производственных основных фондов и нормируемых оборотных средств определяют уровень рентабельности.

Отношение прибыли к стоимости производственных фондов отражает степень использования всех ресурсов предприятия. Уровень рентабельности предприятия при новой системе хозяйствования является плановым и оценочным показателем. Практически бывает необходимость в определении уровня рентабельности не только предприятия в целом, но и уровня рентабельности производства продукции и отдельных ее видов.

Для этого прибыль от реализации продукции следует сопоставить с затратами на производство и реализацию этой продукции с полной себестоимостью. Если отношение данных величин исчислить по формуле

$$\frac{\text{прибыль} \cdot 100}{\text{себестоимость продукции}},$$

получим величину, выражающую размер рентабельности производства в процентах. Данный показатель характеризует экономическую эффективность производства продукции и окупаемость текущих затрат.

Прибыль является важнейшим источником национального дохода государства. Из прибыли прежде всего вносят в бюджет плату за производственные фонды.

При высокой рентабельности некоторых видов продукции часть прибыли можно переводить в бюджет в виде фиксированных платежей.

Кроме этого, предприятия вносят плату в банк за полученный кредит. После выплаты этих взносов и платежей у предприятия остается чистая прибыль, являющаяся источником образования фондов экономического стимулирования. Часть этой прибыли направляется на финансирование централизованных капитальных вложений, на пополнение собственных оборотных средств и другие плановые затраты. Оставшуюся часть прибыли перечисляют в государственный бюджет в виде свободного остатка прибыли.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Инструкция** по определению производственных мощностей фарфоро-фаянсовых заводов, производящих изделия культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода из фарфора, полуфарфора, фаянса и майолики. М., ЦНИИТЭИлегпром, 1970. 29 с.
2. **Основные** положения по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на промышленных предприятиях. М., издание Государственного планового комитета Совета Министров СССР, 1970. 127 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ